

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

BENHUR GOULART VAZ

**ESTUDO E IMPLEMENTAÇÃO DE TÉCNICAS PARA A MAXIMIZAÇÃO DA
POTÊNCIA GERADA EM PAINÉIS FOTOVOLTAICOS**

**Alegrete
2015**

BENHUR GOULART VAZ

**ESTUDO E IMPLEMENTAÇÃO DE TÉCNICAS PARA A MAXIMIZAÇÃO DA
POTÊNCIA GERADA EM PAINÉIS FOTOVOLTAICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia
Elétrica da Universidade Federal do
Pampa, como requisito parcial para
obtenção do Título de **Bacharel em
Engenharia Elétrica.**

Orientador: Prof. Dr. Felipe Grigoletto

**Alegrete
2015**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais).

G393e Goulart Vaz, Benhur

Estudo e Implementação de Técnicas para Maximização da Potência Gerada em Painéis Fotovoltaicos / Benhur Vaz.

81 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação) -- Universidade Federal do Pampa, ENGENHARIA ELÉTRICA, 2015.

"Orientação: Felipe Grigoletto".

1. Energias Renováveis. 2. Ponto de Busca de Máxima Potência. I Título

BENHUR GOULART VAZ

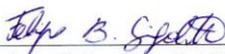
**ESTUDO E IMPLEMENTAÇÃO DE TÉCNICAS PARA A MAXIMIZAÇÃO DA
POTÊNCIA GERADA EM PAINÉIS FOTOVOLTAICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Engenharia Elétrica da Universidade
Federal do Pampa, como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel em Engenharia
Elétrica.

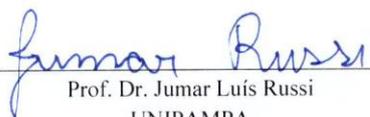
Área de Concentração: Energias Renováveis

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 6 de julho de 2015.

Banca examinadora:



Prof. Dr. Felipe Bovolini Grigoletto
Orientador



Prof. Dr. Jumar Luís Russi
UNIPAMPA



Prof. Me. Guilherme Sebastião da Silva
UNIPAMPA

Dedico este trabalho a minha família e amigos que me ajudaram e sempre estiveram ao meu lado nos momentos de dificuldade.

AGRADECIMENTO

À minha família pelo incentivo nos momentos de dificuldade, minha namorada Rosiéli, pelo incentivo e amor incondicional.

Ao Prof. Dr. Felipe Grigoletto, orientador desse trabalho, por toda contribuição no desenvolvimento desse escopo.

Aos meus colegas de curso e amigos Haiglan, Douglas e Dionatan pela ajuda no desenvolvimento do trabalho.

*“Aquele que não luta pelo futuro que quer,
deve aceitar o futuro que vier”.*

Desconhecido

RESUMO

Este trabalho tem por principal objetivo a implementação de técnicas de busca de pontos de máxima potência para painéis fotovoltaicos. Além disso, são mostrados nesse trabalho os problemas causados pela geração de energia através da utilização de recursos fósseis e quais as consequências do uso irracional desse tipo de recurso. Também são discutidos alguns fundamentos sobre a importância da geração de energia elétrica através das fontes alternativas de energia. Ademais, também é proposto mostrar algumas das potencialidades existentes na geração de energia elétrica através da utilização de painéis fotovoltaicos. Logo, é apresentada neste trabalho uma técnica para rastreamento solar utilizando microcontroladores e com a utilização de resistor dependente de luz. Também é realizado um comparativo entre potências geradas utilizando a técnica de rastreamento solar proposta, e as melhores condições possíveis de posicionamento de um painel solar em estado estacionário e para a latitude do município de Alegrete/RS. Sendo que os dados obtidos durante a realização dos testes foram realizados com as mesmas condições meteorológicas.

Palavras-Chave: Rastreamento, Solar, Microcontroladores, Potência, Radiação.

ABSTRACT

This work has as main objective the implementation of search maximum power point techniques for photovoltaic panels. They are also shown in this work the problems caused by power generation through the use of fossil resources and the consequences of irrational use of that resource type. Also discussed are some fundamentals about the importance of electricity generation through alternative sources of energy. Moreover, it is also proposed to show some of the potential to generate electricity by using photovoltaic panels. herefore, this work is presented a technique for using solar tracking microcontrollers and with the use of light dependent resistor. It is also carried out a comparison between power generated using solar proposed tracking technique, and the best possible conditions placement of a solar panel in steady state for the latitude of the city of Alegrete / RS. And the data obtained during the tests were performed with the same weather conditions.

Keywords: Racking, Solar, Microcontroller, Power, Radiation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Usina Termelétrica de Jänschwalde, na Alemanha	19
Figura 2 – Usina Hidroelétrica de Tucuruí	21
Figura 3 – Painel Solar em uma Residência de Baixa Renda	23
Figura 4 – Radiação Solar em Diferentes Comprimentos de Onda.....	25
Figura 5 – Radiação Solar na Superfície da Terra	26
Figura 6 – Exemplo da Variação da Radiação Solar ao Longo do Dia.....	27
Figura 7 – Atlas Solarimétrico Brasileiro no Mês de Dezembro	30
Figura 8 – Declividade da Terra	31
Figura 9 – Funcionamento da Célula Fotovoltaica	32
Figura 10 – Painel Solar Posicionado para o Sol	34
Figura 11 – Painel Solar Colocado Oposto ao Sol	34
Figura 12 – Modelo Elétrico de um Painel Solar	35
Figura 13 – Exemplo de Curva de MPPT	35
Figura 14 – Passos Dado por Um Painel Solar	37
Figura 15 – Detalhe dos Pinos do Microcontrolador PIC 16F877A	41
Figura 16 – PIC 16F877A.....	44
Figura 17 – Resistor Dependente da Luz	44
Figura 18 – Divisor Resistivo	45
Figura 19 – LEDs do Divisor Resistivo	46
Figura 20 – Funcionamento Ponte H.....	47
Figura 21 – Detalhe Ponte H L298N	48
Figura 22 – Diagrama de Blocos L298N	49
Figura 23 – Microcontrolador e Ponte H.....	49
Figura 24 – Exemplo de Chave Fim de Curso.....	50
Figura 25 – Painel Solar Utilizado no Trabalho	50
Figura 26 – Detalhe do Funcionamento do Potenciômetro	51
Figura 27 – Engrenagens do Potenciômetro	52
Figura 28 – Ligação entre o Microcontrolador e o Potenciômetro	52
Figura 29 – Redutor de Velocidade	53
Figura 30 – CI 7805.....	54
Figura 31 – Chave de Acionamento do Motor	55
Figura 32 – Vista Lateral	56

Figura 33 – Vista Frontal	56
Figura 34 – Protótipo Montado no Software Proteus.....	57
Figura 35 – Simulação Realizada no Software Proteus	58
Figura 36 – Circuito Elétrico	58
Figura 37 – Placa com Componentes Soldados	59
Figura 38 – Montagem Final em Protoboard.....	59
Figura 39 – Funcionamento do Painel Solar	60
Figura 40 – Fluxograma de Funcionamento.....	61
Figura 41 – Horário de Sol Pleno	63
Figura 42 – Gráfico Comparativo da Irradiação Solar em Alegrete/RS.....	64
Figura 43 – Ligação para Medição da Corrente	65
Figura 44 – Ligação para Medição da Tensão	66
Figura 45 – Painel posto na Horizontal	66
Figura 46 – Painel posto na latitude de 29 Graus Norte.....	67
Figura 47 – Comparação entre as Três medidas de Tensão	69
Figura 48 – Comparação entre as Três Medidas de Corrente	69
Figura 49 – Comparação entre as Três Medidas de Potência	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Níveis de Tensão para Acionamento do Motor	48
Tabela 2 – Irradiação Solar em Alegrete/RS.....	64
Tabela 3 – Comparativo entre Tensão, Corrente e Potência no Eixo Horizontal....	65
Tabela 4 – Comparativo entre Tensão, Corrente e Potência a 29 Graus Norte.....	66
Tabela 5 – Comparativo entre Tensão, Corrente e Potência através do Rastreamento com o LDR	67

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

PWM – Pulse Width Modulation

PIC – Peripheral Integrated Controller

LED – Light Emitting Diode

MPPT – Maximum Power Point Tracking

CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sergio Brito

SFR – Special Function Register

CPU – Central Processing Unit

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 FONTES PRIMÁRIAS DE ENERGIA PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	18
2.1 A Energia Elétrica no Brasil	20
2.2 Busca por Novas Soluções Energéticas	21
2.3 Conclusão	24
3 A GERAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA	25
3.1 A Radiação Solar e Suas Potencialidades	27
3.1.1 Relação de Angstrom.....	28
3.1.2 Método Indireto: Hottel/Liu-Jordan.....	28
3.1.3 Correlação de Bennett	29
3.2 Influência da Temperatura na Geração Solar Fotovoltaica	29
3.3 Os Recursos Solares no Brasil.....	29
3.4 A Célula Fotovoltaica	31
3.5 Conclusão	33
4 ALGORITMOS MPPT E SUAS CONTRIBUÇÕES PARA GERAÇÃO DE ENERGIA	36
4.1 Estratégias de Direcionamento de Módulos Fotovoltaicos	37
4.1.1 Perturbação e Observação	37
4.1.2 Condutância Incremental	38
4.1.3 Método da Tensão Constante.....	38
4.4 Conclusão	39
5 BUSCA DA MÁXIMA IRRADIÇÃO SOLAR ATRÁVES DE UM RESISTOR DEPENDENTE DA LUZ	40
5.1 Microcontroladores PIC	42
5.2 Linguagem Assembly	40
5.3 O Resistor Dependente da Luz	44
5.4 Ponte H para Acionamento do Motor	47
5.5 Potenciômetro	50
5.6 Redutor de Velocidade	53
5.7 Acionamento do Circuito	54
5.8 Montagem do Protótipo	55

5.9 Funcionamento do Protótipo	60
5.10 Conclusão	62
6 RESULTADOS EXPERIMENTAIS	63
6.1 Conclusão	69
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	70
7.1 Trabalhos Futuros	70
Referências	71
Anexos	73

1 INTRODUÇÃO

A energia elétrica torna-se, a cada dia que passa mais indispensável para o desenvolvimento seja ele social ou industrial. Logo, é importante encontrarmos soluções que busquem, cada vez mais, aperfeiçoar a geração de energia elétrica e reduzir as perdas na geração.

Além disso, ela é de fundamental importância para o desenvolvimento de um país e para qualidade de vida das pessoas. Conforme ocorre o desenvolvimento dos países, maior é a sua necessidade por energia elétrica. Contudo, o uso irracional de fontes convencionais de energia pode trazer vários danos ao meio ambiente e aos seres humanos.

Nas últimas décadas a demanda por energia, em especial energia elétrica, sofreu um aumento muito elevado. Além disso, o uso contínuo de fontes convencionais para suprir a crescente demanda contribui para o aquecimento global que é apontado como um dos possíveis causadores das mudanças climáticas em todo o planeta. Uma das alternativas encontradas para amenizar o problema é o uso das fontes alternativas de energia, originadas principalmente do vento, da água e do sol, pois estas não produzem lixo nuclear e nem emitem gás carbônico e logo contribuem para diminuir os impactos ambientais.

Nos dias atuais, os recursos fósseis constituem uma grande parcela da matriz energética mundial e projeções de crescimento mostram que nas próximas décadas, apesar do aumento de investimentos em energias renováveis, esses números tendem a aumentar, principalmente devido a fatores como o aumento da demanda mundial por energia. Outro fator que influencia significativamente no uso de recursos fósseis é a falta de recursos de alguns países quanto ao uso da geração de energia o que, conseqüentemente, faz com que o país necessite do uso de recursos fósseis por falta de planejamento e estrutura.

Existem muitos países em sua maioria europeus, que estão investindo de forma mais consistente em energias limpas, principalmente, na eólica e na solar. No Brasil, devido ao grande potencial hidráulico do país diferentemente da Europa e dos Estados Unidos que dependem bem mais de recursos fósseis, quase 70 % da geração provem dos rios. Mesmo assim, vários impactos ambientais e sociais são causados com a instalação das represas. Nos últimos anos o país começou a

investir de forma mais expressiva em parques eólicos e começaram a surgir mini e microgeradores de energia solar. [1]

Como o meio ambiente é fundamental para vida não só dos seres humanos, mas também dos demais seres vivos torna-se imprescindível buscar soluções que venham a contribuir para um melhor aproveitamento energético. Entre essas soluções, destacam-se as oriundas do vento e do sol por apresentarem grande confiabilidade, desenvolvimento tecnológico e principalmente por se tratarem de energias que não agredem o meio ambiente.

Para a realização desse trabalho, busca-se apresentar uma das soluções que podem ser aplicadas em sistemas fotovoltaicos para que haja a redução das perdas na geração dos painéis solares. Os algoritmos de busca do ponto de máxima potência (em inglês – MPPT) buscam através de várias técnicas como modelos matemáticos, uso de microcontroladores e medidas de corrente e tensão determinar o ponto de operação de maior geração de energia elétrica.

2 FONTES PRIMÁRIAS DE ENERGIA PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Apesar de todos os avanços econômicos trazidos pela geração de energia, o aumento da demanda energética também trás muitos problemas. Já que, cada vez mais, necessitamos explorar o potencial energético do planeta para suprir nossas necessidades e confortos.

Com o decorrer dos séculos, esses impactos foram se agravando cada vez mais já que o uso dos recursos fósseis começou a ser explorado mais e, muitas vezes, de forma irracional.

Entre os recursos fósseis mais explorados estão os derivados do petróleo, sendo que 90% do consumo do setor de transportes é proveniente dessa fonte. Entretanto, esse combustível trás inúmeros impactos ambientais na sua extração e consumo que causam graves problemas para o meio ambiente. Na fase da atividade sísmica em plataformas marítimas pode ocorrer redução do número de pescados devido aos disparos para perfuração, além disso, se existirem áreas de corais nas proximidades a perfuração pode ocasionar deposição de cascalho.

Além disso, entre os assuntos mais fatigados está o aquecimento global ou efeito estufa que é resultado de um aumento de temperatura na baixa atmosfera. Esse efeito refere-se à presença de dióxido de carbono (CO_2) e outros gases na alta atmosfera que reflete a radiação infravermelha, associada à reflexão terrestre. Esse efeito em condições normais é totalmente benéfico e necessário para a vida na Terra, já que ele ajuda a manter a temperatura baixa na atmosfera. Entretanto, devido à ação do homem, ocorreu um grande aumento na concentração desses gases na atmosfera e como consequência um aumento da temperatura global acima do aceitável para a vida no planeta levando ao degelo de calotas polares, elevação do nível dos oceanos e outras mudanças significativas para a continuidade da vida no planeta.



Figura 1 – Usina Termelétrica de Jämschwalde, na Alemanha.

Fonte: www.ecodebate.com.br

Para orientar qualquer raciocínio sobre o efeito desse aumento de temperatura, é importante lembrar que um aumento de 2° Celsius nos níveis atuais corresponde ao aumento que a Terra experimentou nos últimos 10 mil anos e que um aumento de 5° Celsius seria mais do que a Terra experimentou nos últimos três milhões de anos. Isso serve para ressaltar a importância ambiental para o planeta. [1]

Também existe o problema dos resíduos sólidos que podem incluir materiais radioativos que requer em cuidado especial em seu transporte e destino final. Apesar desses resíduos não serem produzidos em grande escala pelas indústrias energéticas sua extração causa vários impactos como a mineração, exploração e queima de combustíveis. Contudo, o principal problema causado por esses resíduos é seu destino final que muitas vezes acaba sendo pontos profundos dos oceanos como fossas marítimas e isso afeta de maneira drástica o ecossistema do ambiente.

Outros empecilhos que ocorrem frequentemente são os alagamentos de regiões terrestres nas construções de hidroelétricas, poluição do ar urbano por usinas termoelétricas entre outros fatores que contribuem para que a geração de energia elétrica seja um dos maiores causadores de poluição no globo. Entretanto, apesar de todos esses problemas, ela nos proporciona qualidade de vida e conforto e é indispensável nos dias atuais. Logo, é necessário encontrar fontes alternativas de energia para que esse problema possa ser amenizado.

2.1 A Energia Elétrica no Brasil

A matriz energética brasileira diferentemente de países da Europa e da América do Norte, maiores consumidores de energia do mundo, apresenta uma geração de energia elétrica em sua maioria de origem hídrica, devido ao grande potencial hidráulico existente no país. A geração hidráulica representou no ano de 2013 70,6 % de toda a energia elétrica gerada no Brasil, o que corresponde a um total de 430 TWh, sendo que a segunda fonte de geração mais utilizada que é o gás natural compreende apenas 11,3% da matriz energética. [1]

Entretanto, nos últimos anos a participação das energias renováveis na matriz energética do país vem apresentando uma queda de proporções bastante elevadas, isso devido as condições climáticas desfavoráveis que o Brasil vem enfrentando, principalmente na região sudeste, fazendo com que a geração térmica tenha que ser usada com maior intensidade e, muitas vezes, em caráter emergencial. Os reflexos da falta d'água afetam diretamente a economia brasileira, já que o kWh de uma termoelétrica excede consideravelmente o de uma hidroelétrica.

Sendo assim, o Brasil começou a buscar soluções para reduzir o problema de aumentar a demanda energética. A usina Hidroelétrica de Belo Monte localizada no estado do Pará terá uma capacidade instalada de 11230 MW com uma geração média de 4500 MW, um investimento estipulado em 26 bilhões de reais, e tornando-se a terceira maior geradora hidráulica do mundo atrás da binacional Brasileiro-paraguaia ITAIPU e da chinesa Três Gargantas. [1]



Figura 2 – Usina Hidroelétrica de Tucuruí.

Fonte: www.construtoracamargocorrea.com.br

Do ponto de vista econômico o aumento da matriz energética brasileira é imprescindível, já que para atingirmos um crescimento econômico e avançarmos no desenvolvimento social e industrial é necessário termos uma matriz energética que suporte esse crescimento. Essa solução aparentemente viável e de benefícios gigantescos do ponto de vista econômico tende a apaziguar as dificuldades energéticas que o Brasil vem sofrendo.

Entretanto, do ponto de vista ambiental essa solução não é apresentada como uma alternativa atraente. Já que é, extremamente, necessário utilizar-se um planejamento energético e desenvolvimento sustentável para que possamos crescer economicamente sem agredir o meio ambiente. Logo constitui-se imprescindível buscar soluções com menores impactos ambientais.

2.2 Buscas Por Novas Soluções Energéticas

Devido aos grandes problemas existentes com o uso excessivo dos recursos energéticos fósseis e suas agravantes consequências para a natureza, começou-se um investimento crescente nas fontes alternativas de energia. Entre as mais utilizadas destaca-se a eólica e em caráter um pouco menos expressivo a solar.

A energia eólica está presente na vida dos seres humanos desde o começo das primeiras civilizações sendo utilizada para o bombeamento de água e mover barcos a vela. Já os primeiros moinhos de vento têm referência do século V e eram utilizados, principalmente, para fazer farinha. Devido a esse histórico pode-se

concluir que o conhecimento sobre a energia eólica é bem antigo, portanto, não é considerada uma tecnologia nova. Contudo, foi somente no final do século XIX que começaram a surgir às primeiras turbinas movidas à energia eólica. Mas foi somente na década de 1970 devido à grande crise do petróleo que essa tecnologia começou a ser utilizada de forma mais significativa.

A energia Eólica é apresentada como uma das principais fontes alternativas de energia, segundo a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) 248 MW de potência instalada de origem eólica no país, contudo o potencial bruto chega a 143,5 GW. Esses números mostram que a energia eólica tem um grande potencial a ser explorado no Brasil. Contudo, o grande problema da energia eólica é a estocagem. Diferentemente, para uma hidroelétrica se podem realizar cálculos de demanda para saber se a quantidade de água estocada é suficiente para suportar um período de seca, levando em consideração variável como possibilidade de precipitações pluviométricas e demanda a ser atendida. Apesar de ocorrerem vários estudos de viabilidade de implantação de parques eólicos a sua energia não pode ser estocada. Sendo assim, fica difícil realizar previsões de carga e sua utilização em grande escala numa matriz energética pode não ser uma boa escolha.

A energia solar por sua vez ainda é muito pouco utilizada no Brasil e isso é devido principalmente ao elevado custo que os módulos solares possuem. Entretanto, essa energia tornando-se mais barata e recebendo mais investimentos pode vir a auxiliar de forma muito expressiva nos problemas energéticos atuais. Assim como a energia eólica, a solar caracteriza-se como uma energia inesgotável, e utiliza-la para auxiliar na matriz energética convencional, com certeza, é uma solução que pode ajudar muito para amenizar o problema.

Ela pode ser extraída em grandes parques solares ou em pequenas centrais energéticas que contribuam para reduzir os custos com a geração proveniente da rede elétrica convencional.



Figura 3 – Paine Solar em uma Residência de Baixa Renda

Fonte: www.dawn.com

A vantagem de se utilizar a energia solar em pequena escala num prédio ou residência, por exemplo, está nos custos de transmissão já que não é necessário estar conectado à rede para obter-se esta energia. Além disso, torna-se uma solução para lugares pouco desenvolvidos onde ainda não há energia elétrica.

D acordo com [19] 40% da energia elétrica consumida é utilizada por edificações, sejam ela, comerciais, residenciais ou públicas. Em capitais como o Rio de Janeiro o consumo de energia com ar condicionado pode chegar a 50% da energia consumida no período do verão. Sendo assim, investir nessas soluções pode ser muito bom para o país já que o Brasil possui um alto nível de insolação e grandes reservas de quartzo de qualidade. E sendo o quartzo utilizado como matéria-prima para a fabricação de células solares, esse fator potencializa a atração de investidores e também o desenvolvimento do mercado interno para que essa tecnologia seja mais bem explorada.

Estudos apresentados na Inglaterra revelam meios eficientes e inovadores para armazenar a energia fotovoltaica, motivados principalmente pelos grandes investimentos no setor de energia solar. O país possui tecnologia para estocar a energia solar e eólica na forma de ar líquido, o que ajudaria muito com problemas de intermitência existentes no abastecimento, sendo assim a energia estaria disponível em dias de pouco vento ou nublados.

No Brasil, os maiores impactos ambientais são causados pelas queimadas e o elevado índice de poluição. Contudo, a geração de energia através do uso de recursos fósseis contribui muito para o agravamento do problema.

2.3 Conclusão

Nesse capítulo, foram apresentadas algumas informações básicas sobre o panorama da energia elétrica no Brasil. Também foram discutidas algumas informações sobre os problemas causados pelos impactos ambientais e quanto eles podem ser prejudiciais para o meio ambiente e para o futuro das próximas gerações. Além disso, foi mostrado que existem pesquisas de fundamental importância para buscar novas soluções energéticas e encontrar caminhos menos destrutivos ao meio ambiente.

3 A GERAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA

A maior fonte de energia primária que o planeta Terra recebe é o sol. É ele o responsável por fenômenos imprescindíveis para a vida na Terra como a fotossíntese e o ciclo das águas. Como ele é uma grande fonte de energia cabe a nós seres humanos explorarmos o seu potência para que possamos depender menos dos recursos fósseis e assim explorar menos o nosso planeta.

O Sol é uma fonte primária de energia para instalações solares e é responsável direto pelo surgimento da vida na Terra. Possui uma massa de $1,99 \times 10^{30}$ Kg, um raio de $6,96 \times 10^8$ m, densidade média de $1,41 \text{ g/cm}^3$, temperatura média na superfície de 5762 K e magnitude absoluta de $4,87$. Todo ano o Sol fornece para a atmosfera terrestre aproximadamente $1,5125 \times 10^{18}$ kWh de energia.

[2] A figura 4 mostra a radiação solar em diferentes comprimentos de onda.

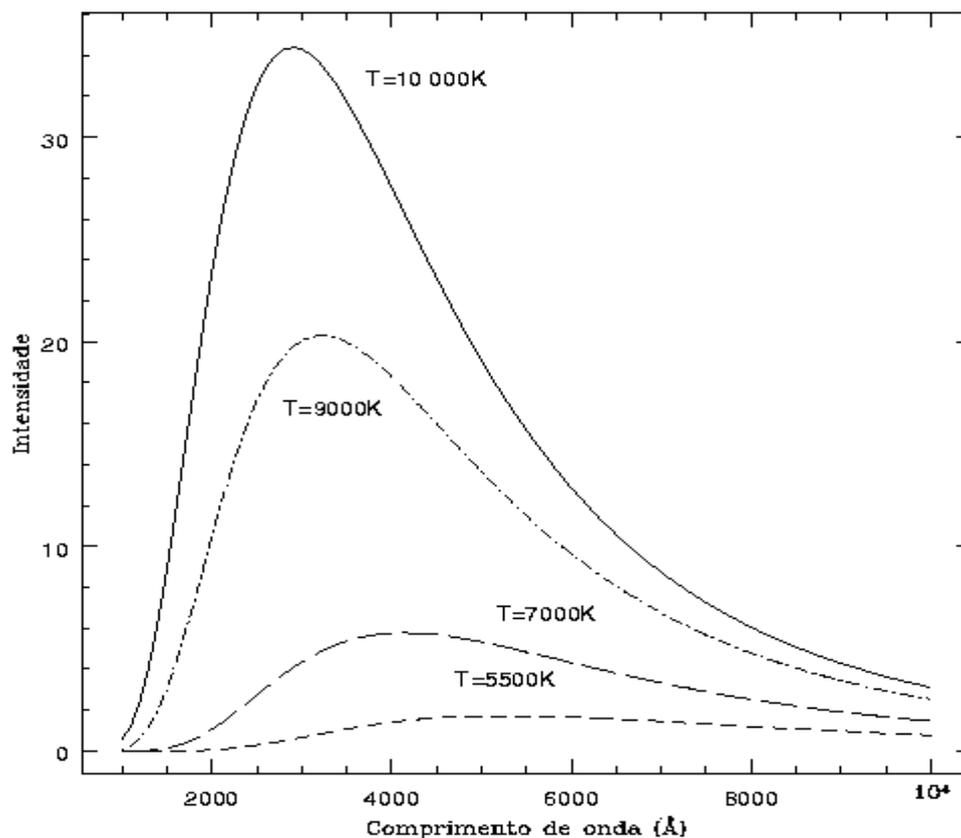


Figura 4 - Radiação Solar em Diferentes Comprimentos de Onda.

Fonte: UFRGS

A radiação eletromagnética proveniente do Sol possui um espectro contínuo que por sua vez é constituído de diferentes comprimentos de onda. Sendo assim,

pela distribuição espectral é possível saber quanto da energia da luz solar é fornecida em um intervalo de comprimento de onda.

O potencial solar brasileiro ainda é pouco conhecido já que existem poucos dados sobre a radiação solar no Brasil. Outra dificuldade está relacionada com os custos que a coleta desses dados acarreta. Logo pesquisas estão sendo feitas para que esses estudos se adaptem à realidade brasileira.

Outro fato importante a ressaltar é que a radiação solar que atinge o solo é bem menor que a que atinge as camadas da atmosfera. Isso ocorre principalmente devido ao fenômeno da reflexão e absorção dos raios solares quando eles passam pela atmosfera terrestre. A figura 5 mostra a radiação solar na superfície da Terra.

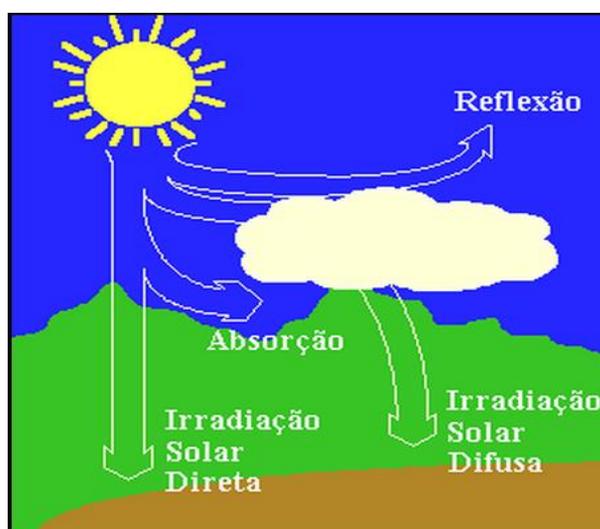


Figura 5 - Radiação Solar na Superfície da Terra.

Fonte: www.cresesb.cepel.br

Outro obstáculo também é o tipo de terreno, já que em locais bastante acidentados como montanhas, vegetação densa e terrenos acidentados. Outro fator importante que influencia a chegada de irradiação solar é a espessura da camada atmosférica. Entretanto, essa variável é influenciada pelas condições atmosféricas, a distância da Terra em relação ao Sol, o ângulo zenital do sol e as condições meteorológicas.

3.1 A Radiação Solar e Suas Potencialidades

Atualmente, cada vez mais, temos a consciência de que os recursos energéticos são finitos. Portanto, é importante termos conhecimento das informações solarimétricas das regiões para sabermos informações mais detalhadas sobre a viabilidade da instalação de painéis solares. A figura 6 mostra um exemplo de como a radiação solar pode variar ao longo do dia.

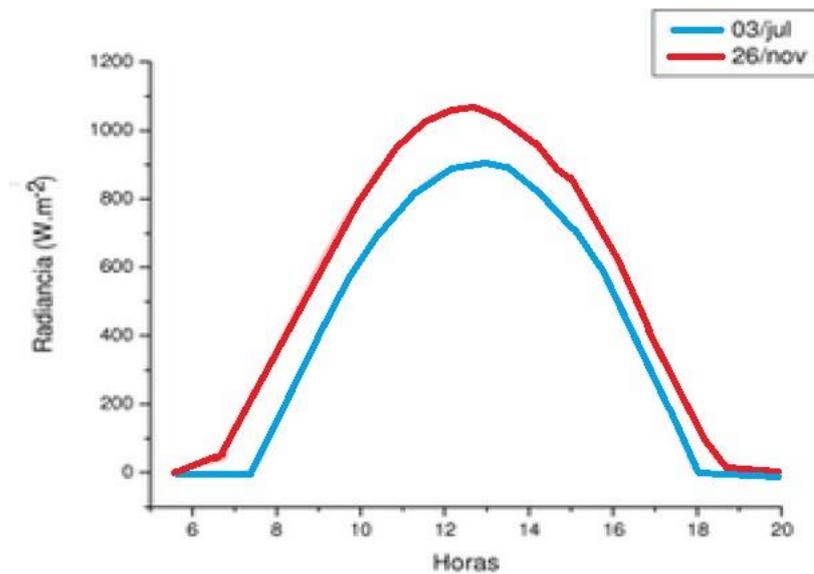


Figura 6 - Exemplo Variação da radiação Solar ao longo do dia.

Fonte: www.scielo.com

Para encontrarmos de forma mais precisa as potencialidades solares de uma região, devem-se levar em consideração variáveis que podem afetar os dados sobre um local, já que em regiões de forte relevo e em espelhos d'água muito grandes os dados acabam se tornando imprecisos.

3.1.1 Relação de Angstron

Os valores das radiações solares global diária e mensal diária são conhecidas pela relação de Angstron, estabelecida no ano de 1924. [8]

Dessa relação, podemos obter a equação 3.1.

$$\frac{H}{H_0} = a + b \cdot \left(\frac{n}{N}\right) \quad (3.1)$$

Onde, H e H_0 representam, respectivamente, radiação solar global diária e radiação global diária no topo da atmosfera em médias mensais. N refere-se à média mensal da duração astronômica do dia e n à média mensal da insolação diária. Os valores de a e b são chamados de coeficientes de regressão e representam variáveis como umidade relativa, quantidade de água precipitável, latitude e altura solar. [8]

3.1.2 Método Indireto: Hottel/Liu-Jordan

Nesse método o cálculo é baseado na distribuição dos constituintes da atmosfera. Esse método é bastante simples, pois leva em consideração o fluxo da radiação direta quando o mesmo encontra-se em uma superfície horizontal. Sendo I_{ch} o fluxo da radiação direta temos a equação 3.2.

$$I_{ch} = \tau_0 \cdot I_0 \cdot \cos \varnothing \quad (3.2)$$

A transmitância – fração de luz incidente em um comprimento de onda específico ao atravessar uma amostra de matéria – é descrita como τ_0 . O valor de I_0 refere-se à constante solar e ao ângulo \varnothing representa o valor do ângulo de Zênite. Esse ângulo representa a coordenada do eixo y no plano que representa o horizonte celeste. [8]

3.1.3 Correlação de Bennett

Essa formulação considera a transmissividade da atmosfera – capacidade de um meio transmitir luz – e os efeitos da duração do brilho solar. Ademais, efeitos da latitude, altitude e época do ano. [8]

Essa equação é dada por:

$$\frac{Q_a}{Q_0} = a + b \cdot \left(\frac{n}{N}\right) + c \cdot h \quad (3.3)$$

Onde:

Q_a = Radiação solar incidente na superfície terrestre;

Q_0 = Radiação solar no topo da atmosfera;

n = Número de horas de brilho observado;

N = Número de horas de brilho solar previsto para cada dia;

h = Altitude da estação;

a, b e c = Coeficientes determinados a partir de dados de cada hemisfério.

3.2 Influências da Temperatura na Geração de Energia Fotovoltaica

Além da influência da radiação solar nos painéis fotovoltaicos existe também a interferência da temperatura. Isso, conseqüentemente, reflete em locais de grande variação de temperatura, como no caso do município de Alegrete/RS.

Além disso, os locais mais próximos da linha do equador, quando não são afetados por razões externas como acidentes geográficos, são as mais favorecidas com altas temperaturas. Conseqüentemente, são os que apresentam as melhores condições para instalações de painéis solares.

3.3 Os Recursos Solares no Brasil

A maioria das regiões em que se encontram as maiores potencialidades de recursos solares são as regiões desérticas do mundo. Entretanto, sendo o Brasil um país majoritariamente de clima tropical, apresenta grandes potencialidades principalmente em áreas localizadas no nordeste brasileiro. Além disso, é importante ressaltar que essas regiões apresentam excelentes condições de radiação solar durante todo o ano o que torna a média anual de geração uma das melhores do mundo. [8]

A região sul do Brasil apresenta boas qualidades de geração de energia, entretanto devido ao inverno rigoroso a radiação solar diminui bastante no inverno.

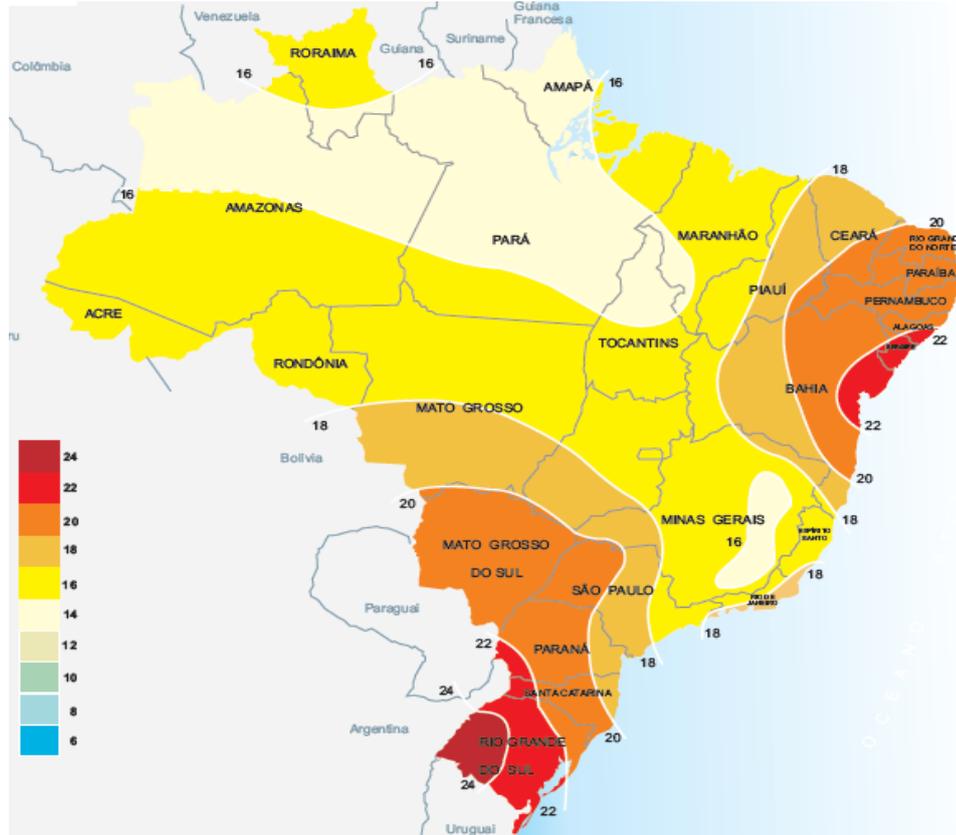


Figura 7 – Atlas Solarimétrico Brasileiro no Mês de Dezembro.

Fonte: www.cresesb.cepel.br

Porém, conforme mostra a figura 7 a radiação solar no mês de dezembro, na região da fronteira oeste do Rio Grande do Sul apresenta índices de radiação em torno de 24 MJ/m².dia. Esse dado é superior às regiões de zonas tropicais do nordeste brasileiro quando comparados para o mesmo mês. Esses dados se repetem para os outros meses do verão mostrando que a região sul apresenta grandes potencialidades de geração de energia fotovoltaica. Entretanto, quando compararmos aos períodos de inverno a média da geração de energia na região nordeste apresenta valor mais expressivos. [8]

Essas variações entre as estações do ano ocorrem devido a Terra apresentar uma órbita elíptica em torno do sol em um plano inclinado de aproximadamente 23,5 Graus. Logo, devido a órbita elíptica da Terra durante o período anual, o sol pode estar mais próximo ou longe da Terra. Esse fenômeno dá origem às estações do ano. Visto que essa declividade pode estar voltada para o hemisfério sul ou hemisfério norte. [8]

A figura 8 mostra a variação da declividade da Terra durante o período anual.

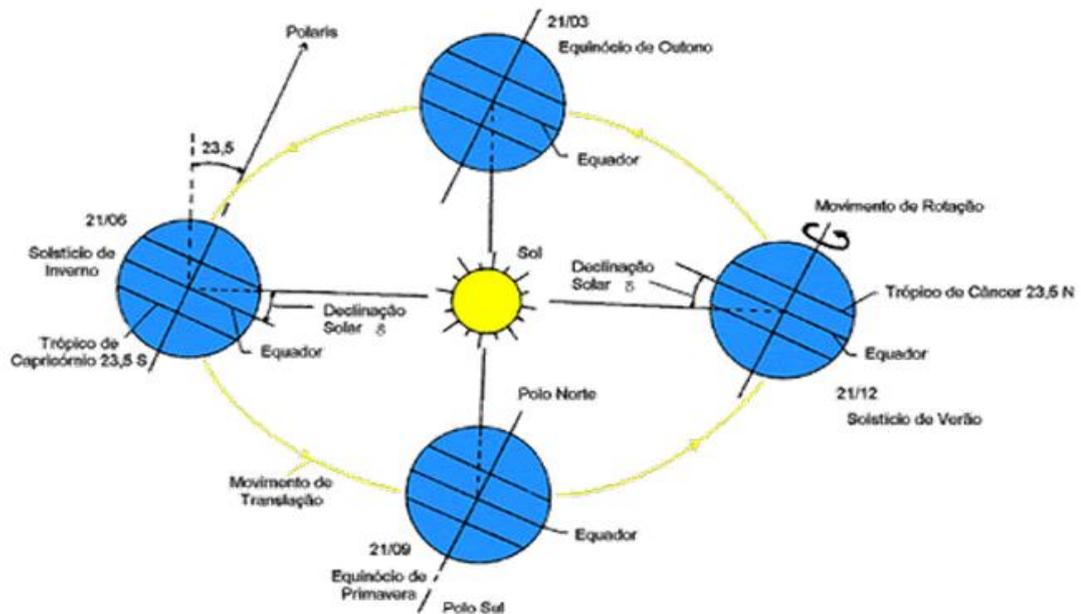


Figura 8 - Declividade da Terra

Fonte: www.cresesb.cepel.com.br

Assim, para a instalação de painéis solares é de fundamental importância o conhecimento da latitude do seu local de instalação. Isso, porque quando associamos o ângulo de declividade solar de um determinado dia do ano com a latitude temos a posição exata da trajetória do sol para o dia que foi determinado.

3.4 A Célula Fotovoltaica

As células solares ou fotovoltaicas são dispositivos semicondutores que produzem uma corrente elétrica quando os mesmos são expostos à luz. A maioria desses materiais apresenta uma estrutura cristalina e uma das características dos cristais é a presença de banda de energia.

Nessas matérias existem bandas de energia nas quais é permitida a presença de elétrons e bandas nas quais não é permitida essa presença. Logo, num semicondutor a 0 K, encontra-se uma banda permitida preenchida por elétrons, chamada de banda de valência, uma banda proibida e uma segunda banda permitida de nível mais alto e que está desocupada, chamada banda de condução.

A quantidade de energia mínima necessária para elétrons passarem da banda de valência para a banda de condução é equivalente ao intervalo de energia da banda proibida, que é uma constante para cada material. Caso ocorra esse

deslocamento, surgem como portadores de carga os elétrons, localizados na banda de condução, e as lacunas, situadas na banda de valência. [4]

Normalmente os semicondutores são formados pelo grupo quatro da tabela periódica, em especial o silício (Si) e o Germânio (Ge). Entre as características mais importantes para um sistema fotovoltaico destaca-se que esses materiais apresentam quatro elétrons em sua camada de valência, logo eles podem formar quatro ligações covalentes. Sendo assim, quando o silício é adicionado com um elemento de 3 elétrons em sua camada de valência, o semicondutor ficará positivamente carregado, formando um substrato do tipo P. Contudo, se adicionar ao silício um elemento contendo 5 elétrons em sua última camada, o semicondutor ficará negativamente carregado e formará um substrato do tipo N. [4]

Quando ocorre a união desses dois semicondutores dopados, ocorre a migração de elétrons do substrato P para o substrato N e vice-versa.

Esse processo ocasiona a formação de um campo elétrico, causando uma diferença de potencial (DDP) e, ao conectarem-se as extremidades de um caminho fechado, haverá a circulação de corrente elétrica. [4]

A figura 9 mostra o funcionamento de uma célula fotovoltaica.

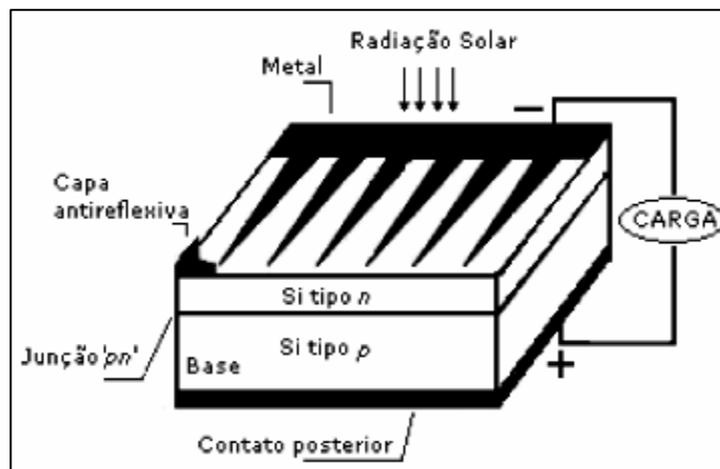


Figura 9 – Funcionamento de uma Célula Fotovoltaica.

Fonte: www.proceedings.scielo.br

Além dos modelos mais usuais de células fotovoltaicas constituídas de cristais de Silício, também existem outros modelos que podem ser encontrados no mercado, entretanto esses modelos não possuem o mesmo rendimento do modelo

convencional. Os mesmos podem ser constituídos de semicondutores como o Telureto de Cadmio, Arsênio de Gálio e o Silício Amorfo. [18]

Logo, quando conectamos as células fotovoltaicas em série ou em paralelo constituímos os módulos fotovoltaicos. Devido às possibilidade de conexão das células fotovoltaicas pode-se dimensionar a energia a ser gerada.

3.5 Conclusão

Nesse capítulo, foi tratado sobre a célula fotovoltaica e seu funcionamento. Também foram mostradas as características da radiação solar e quais os horários em que a geração de energia apresenta as melhores potencialidades. Além disso, discutiu-se sobre as potencialidades dos recursos solares no Brasil e foi mostrado que a região sul, principalmente a região oeste do Rio Grande do Sul, tem grandes potencialidades de geração de energia solar principalmente no verão. Por fim, foi realizada uma breve descrição sobre a declividade da Terra e qual a melhor posição para instalar um painel solar.

4 ALGORITMOS MPPT E SUAS CONTRIBUIÇÕES PARA A GERAÇÃO DE ENERGIA

A energia elétrica gerada em painéis solares pode ser afetada por outros fatores externos que não dependem da qualidade da geração. Mesmo que os painéis solares estejam em locais com ótimas condições para gerar energia, dependendo da posição do painel a energia gerada pode apresentar resultados bem adversos. A figura 10 mostra um painel solar posicionado diretamente para o sol.

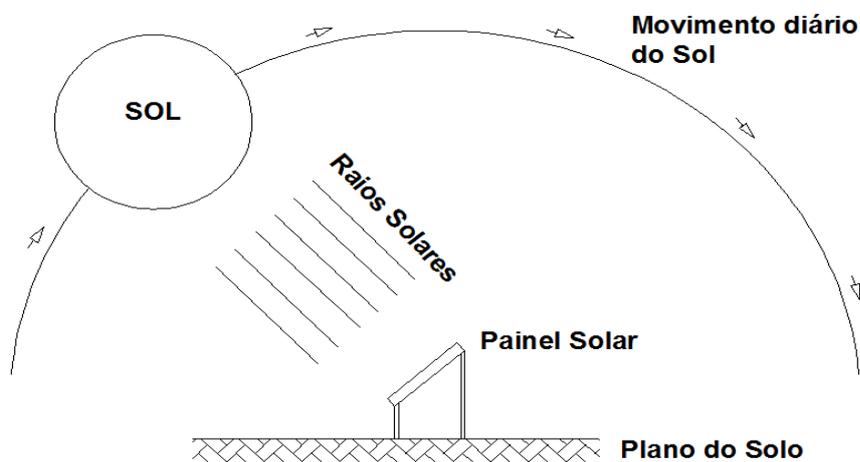


Figura 10 – Painel Solar Posicionado para o Sol

Devido ao posicionamento do sol variar ao longo do dia ocorre a menor geração de energia elétrica do painel. Isso ocorre devido ao mesmo não acompanhar o movimento do sol. Logo, na maioria das horas do dia o painel não fica diretamente apontado para o sol o que resulta na perda de energia, já que não são aproveitadas todas as potencialidades do sol durante todas as horas do dia. A figura 11 mostra um painel solar com a perda do ponto de referência do sol com o passar das horas do dia.

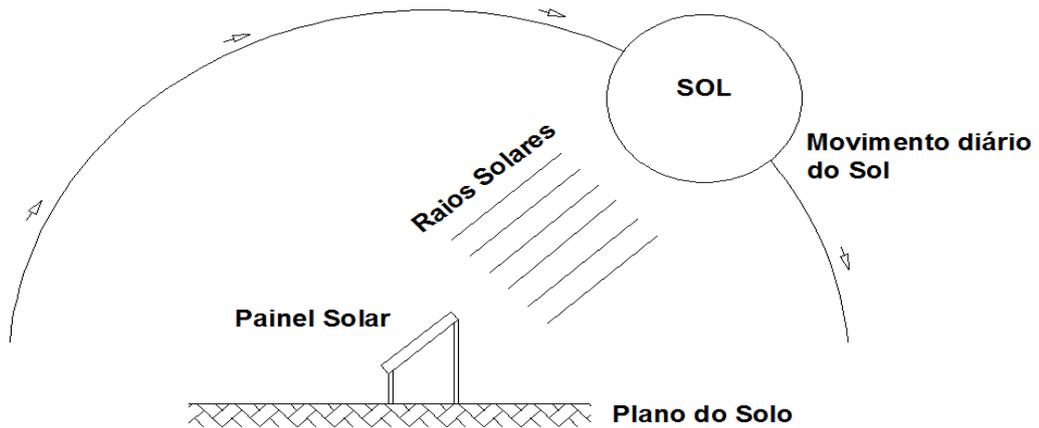


Figura 11 – Painel Solar Colocado Oposto ao Sol

Sendo assim, a busca por pontos de máxima potência em painéis solares tornou-se de fundamental importância para melhorar o rendimento destes. A figura 12 mostra o modelo elétrico de um painel solar.

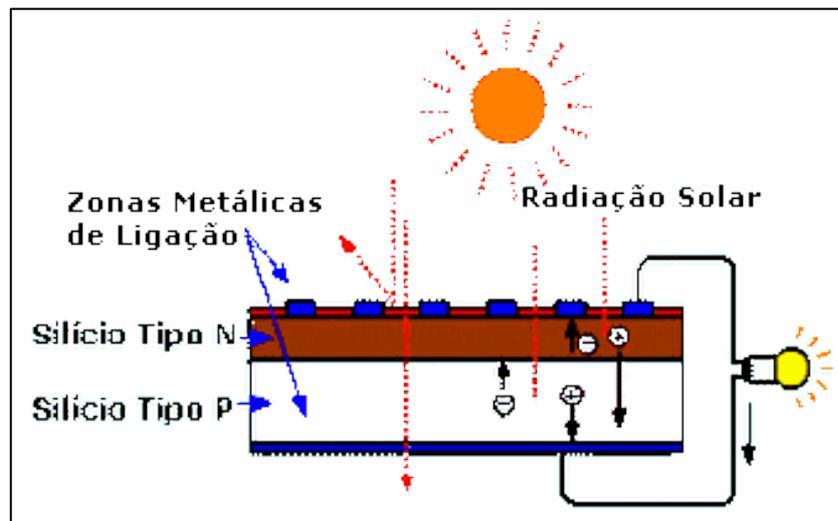


Figura 12 – Modelo Elétrico de um Painel Solar.

Fonte: www.electronica-pt.com

A figura 13 mostra um exemplo de como pode ser a curva que relaciona a tensão e a corrente em um painel solar. Logo, conforme ocorre a variação do movimento do sol sem a placa acompanhar esse movimento ocorrem perdas de potência gerada.

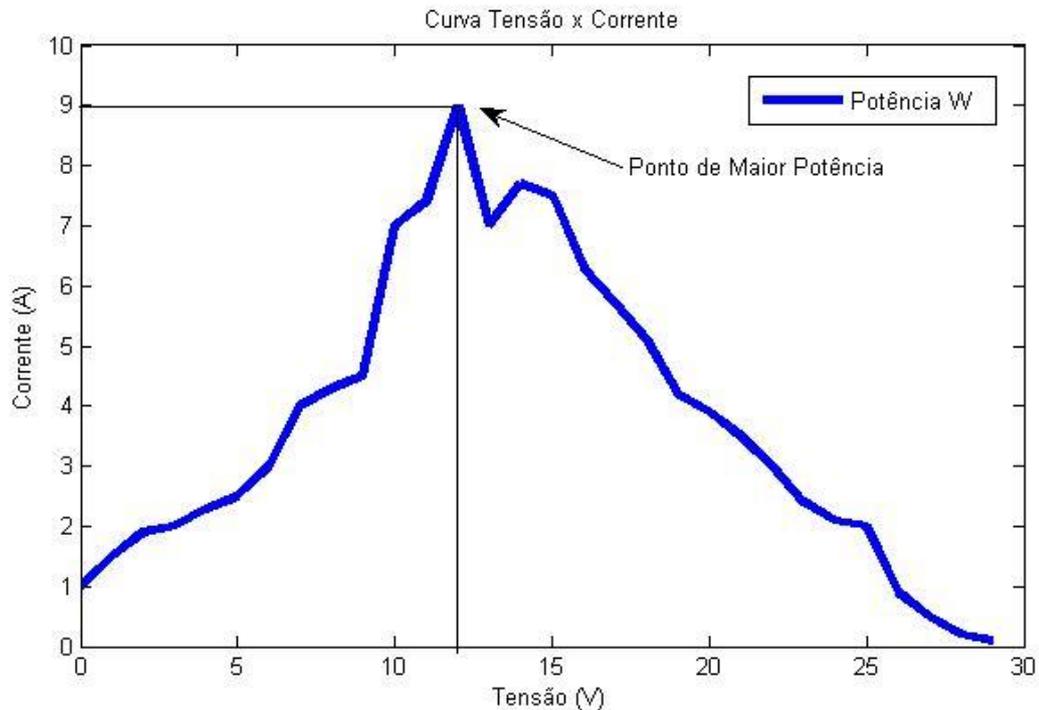


Figura 13 - Exemplo de curva de MPPT.

Os algoritmos de MPPT são de extrema importância para um sistema de geração de energia elétrica. Existem na literatura alguns algoritmos de MPPT já simulados e implementados experimentalmente.

São normalmente baseados em modelos matemáticos para cálculos de tensão e corrente. Também podem ser determinados por processos heurísticos baseados nas medidas de corrente e tensão. Nesses métodos, para cada tomada de decisão ocorre um aumento ou diminuição do valor da variável de controle. Os mais simples nesse contexto e largamente usados são os métodos de perturbação e observação e o método de condutância incremental. Entretanto, existem outros métodos mais complexos, como a técnica baseada no controle da correlação da ondulação do chaveamento do condutor [2]

No método da perturbação e observação ocorre uma perturbação na tensão que opera nos terminais de um determinado sentido, assim são observadas quais as variações que ocorrem com a potência gerada. Caso ocorra um aumento de potência, o procedimento correto é manter a perturbação nesse sentido. Caso ocorra uma diminuição da potência deve-se inverter o sentido da perturbação. Esse procedimento deve continuar até que o ponto de máxima potência seja alcançado.

[4]

Também existem os métodos baseados em treinamento, os mais confiáveis e seguros, eles podem ser realizados com a utilização de um microcontrolador ou processadores digitais de sinais. Apesar de esse método apresentar um custo maior de implantação ele é bastante utilizado, já que dispensa o conhecimento da descrição precisa de modelos matemáticos. [4]

4.1 Estratégias de Direcionamento de Módulos Fotovoltaicos

4.1.1 Perturbação e Observação

Essa foi uma das primeiras técnicas a se utilizar a tensão e corrente na saída de um módulo fotovoltaico. Esse método é realizado quando se causa uma perturbação no painel solar e se realiza uma análise do resultado da mesma. Ou seja, com o decorrer de um dia o sol realiza o movimento sobre a placa, logo o método consiste em realizar o acompanhamento da placa conforme o decorrer do movimento solar. Sendo assim, através de dados de tensão (V) e corrente (I) pode-se encontrar qual a potência gerada pelo painel.

$$P = V \cdot I \quad (4.1)$$

Com o decorrer do dia a curva tensão por corrente apresenta muitas variações, já que devido ao movimento de rotação da Terra em torno do sol perde-se o ponto de referência do mesmo e perde-se potência no painel.

Sendo assim, realizando-se a perturbação da placa é possível verificar se a potência está aumentando ou diminuindo verificando se a próxima posição da placa apresenta um valor de potência maior que a atual. Esse método deve ser repetido para todos os graus de liberdade que o painel solar apresentar para um melhor ângulo de aproveitamento do sol. Logo, é possível que o painel fique incrementando e decrementando sua posição e assim sempre esteja gerando as melhores condições possíveis de geração.

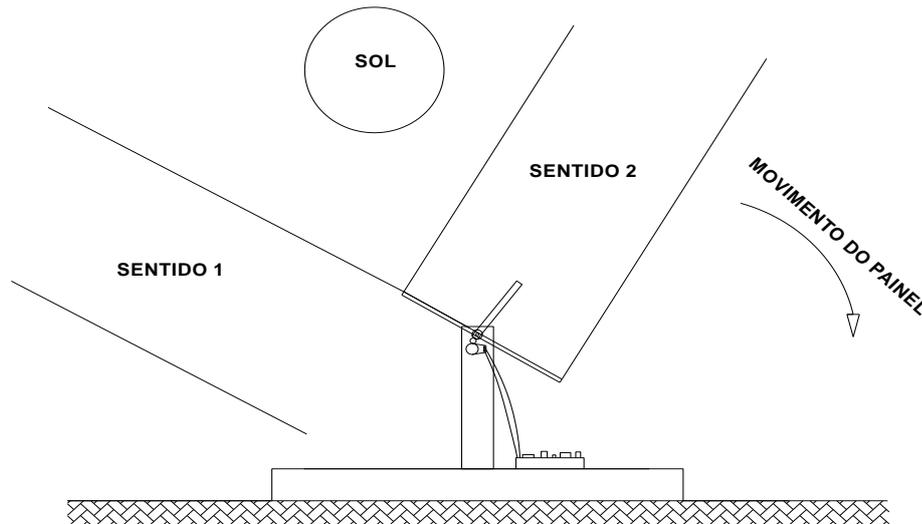


Figura 14 – Passos Dados por Um Painel Solar

Entretanto, deve se levar em consideração o tamanho do passo que o painel deve dar para se encontrar o melhor ponto para não ocorrer a perda do referencial devido a um passo muito elevado dado pelo painel. Ao se usar um passo muito pequeno. O painel conseqüentemente levará mais tempo para encontrar o ponto e gastará muita energia realizando o movimento. [4]

4.1.2 Condutância Incremental

O método da condutância incremental é considerado o melhor método de rastreamento entre todos os métodos tradicionais. Ele funciona, levando em consideração o cálculo da curva da derivada entre a tensão (V) e a potência (W). Através desse método é possível constatar que quando a derivada de $\frac{\partial P}{\partial V} = 0$, o sistema está localizado no ponto de máxima potência.

Esse método apresenta grande destaque pela ótima resposta dinâmica e por apresentar uma pequena oscilação. Isso deve-se a ele ter uma resposta de rastreamento muito rápida, isso porque ele utiliza a própria curva da derivada P x V para determinar o tamanho do passo. Ou seja, quando o ponto de máxima potência está muito longe do ponto onde o painel se localiza o método determina um passo logo para chegar mais rapidamente ao ponto, logo conforme a proximidade que o painel localiza-se do ponto menor é passo a ser realizado. Ademais, o sinal da

derivada também mostra se o ponto está a esquerda ou a direita do ponto de máxima potência. [4]

4.1.3 Método da Tensão Constante

O método da tensão constante é simples de ser implementado. Ele apresenta como grande vantagem a sua simplicidade e facilidade na sua implementação. Isso deve-se, principalmente, ao fato de ser necessária apenas a leitura de um parâmetro de saída, no caso desse método a tensão de circuito aberto. Sua aplicação baseia-se em manter constante a tensão de saída a um valor bem próximo de uma determinada tensão de referência. Sendo assim, pode-se dizer que o sistema irá operar na região de máxima potência independente da posição em que se encontrar o sol.

Esse método é indicado para regiões onde não ocorrem variações bruscas de temperatura, ou seja, que não tenham grandes variações de potência para o painel solar independente da posição do sol. [4]

4.4 Conclusão

Nesse capítulo foram apresentados os conceitos básicos sobre os algoritmos de busca do ponto de máxima potência. Além disso, foram mostrados alguns dos principais métodos utilizados para rastreamento do MPPT. Além disso, foram discutidas quais as principais vantagens e desvantagens na utilização de cada método.

5 BUSCA DA MÁXIMA IRRADIAÇÃO SOLAR ATRAVÉS DE UM RESISTOR DEPENDENTE DA LUZ

Esse capítulo refere-se a parte principal do trabalho e busca descrever todos os passos realizados para a montagem de um protótipo de um rastreador solar mecânico com um grau de liberdade desenvolvido no laboratório de eletrotécnica da Universidade Federal do Pampa.

5.1 Microcontrolador PIC

Os microcontroladores são circuitos integrados compostos basicamente por um microprocessador e seus dispositivos periféricos. São muito utilizados devido ao seu baixo custo, o que faz com que sejam muito utilizados em equipamentos que necessitem de um baixo consumo de energia. Sua capacidade de processamento e armazenamento varia conforme o modelo do microcontrolador, entretanto suas funções de processamento são muito semelhantes. Os modelos mais compactos e com menos funções ocupam menos espaço e são utilizados em operações mais simples que não necessitem de muitos recursos. [5]

Entretanto, comparados a um microcomputador esses equipamentos são bem limitados quanto à quantidade de memória. Contudo, com relação a custo eles podem ser muito mais baratos e atender às especificações de um projeto. Sendo assim, eles são fortemente indicados para aplicações mais simples e que não precisem de processamento em tempo real.

Os microcontroladores PIC (Peripheral Integrated Controller) processam dados de oito e dezesseis bits e apresentam uma extensa variedade de modelos periféricos.

O modelo utilizado nesse trabalho é o PIC16F877A, esse modelo possui 40 pinos, sendo 7 usados para controle e alimentação. A letra F no microcontrolador significa que ele utiliza uma tecnologia *Flash* logo podendo ser regravado.

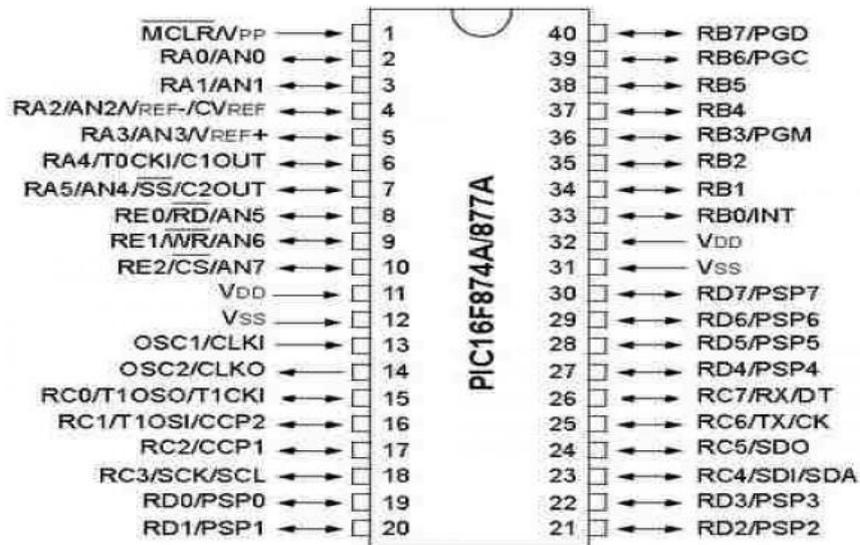


Figura 15 – Detalhe dos Pinos do Microcontrolador PIC16F877A

Fonte: www.solarbotics.com

O pino 1 suporta três níveis de tensão. Sendo esses níveis responsáveis pelo modo de execução de programas, gravação e modo de reinicialização.

Quando o valor no pino 1 for de cinco volts o microcontrolador estará pronto para executar o programa. Na condição em que o valor no pino 1 é de zero volts o microcontrolador será reinicializado e quando a tensão no pino for de 13,4 volts o PIC estará em condições de ter um programa gravado em sua memória. Os pinos 11 e 31 são utilizados para alimentação, contudo essa alimentação será apenas de 5 volts para não danificar o equipamento. Já aos pinos 13 e 14 devem ser ligados o ressonador externo (cristal de *clock*). Os demais pinos são pinos de entradas e saídas agrupados em “PORTs” (portos) de no máximo 8 pinos cada. Sendo assim, há um total de 33 entradas e saídas disponíveis para serem configuradas.



Figura 16 - PIC 16F877A

Fonte: www.indonetwork.com

Quando um pino é colocado como entrada ele deve receber uma variação de 0 a 5 volts. Logo ele deve ser conectado a algum sensor para detectar os sinais digitais ocorridos pela variação de tensão. A corrente gerada por um pino de saída é uma corrente relativamente baixa e não pode ultrapassar 20 mA com os níveis de tensão variando de 0 a 5 volts.

Além disso, o microcontrolador também possui entradas analógicas que também podem ser utilizadas para verificar os níveis de tensão nos pinos 2 a 10. O pino 6 também pode ser utilizado para contagens rápidas. Com a variação de 0 a 5 volts esse sinal pode transformar a informação recebida em valores binários de 10 bits. Também existem os pinos que são utilizados na gravação do microcontrolador, pinos 39 e 40, e pinos utilizados para comunicação serial que são os pinos 25 e 26. Outro ponto importante a se destacar são os pinos de pulso, 16 e 17, gerados pelos sinais PWM (*Pulse Width Modulation*). Esses sinais são muito úteis para controle de velocidade e são muito utilizados, principalmente, no acionamento de motores.

5.2 Linguagem Assembly

Essa linguagem de programação surgiu em meados dos anos 50, ainda antes da invenção dos transistores. Ela tem como principal característica de funcionamento usar um comando para cada instrução de máquina. Nessa programação, não existem tipos e variáveis tudo no código é feito apenas através da manipulação bytes na memória. [20]

As programações em Assembly são normalmente compiladas mais rapidamente e seus códigos são menores do que as utilizadas em outras linguagens. A realização da programação em Assembly é feita em duas partes para cada linha de código. A primeira parte refere-se ao nome da instrução que deve ser executada, já a segunda parte são os parâmetros referentes aos comandos que devem ser implementados. Os nomes dados a cada instrução criada com 2, 3 ou 4 letras e são chamados de mnemônios ou códigos de operação. [21]

Os registradores SFR são registradores de funções especiais e podem ser usados para controlar periféricos e dispositivos internos e flags de estado do processador. [23]

Já o controle da seleção do banco de memória é feito por meio dos bits PR0 e PR1 localizados no registrador STATUS. Dentre os registradores SFR, podemos destacar:

- TRISx – Utilizado para o controle de direção de cada pino da porta. Ou seja, determina se é uma entrada ou uma saída;
- PORTx – Esse comando é utilizado para ler ou escrever informações nos pinos externos do PIC;
- OPTION_REG – Utiliza-se para configuração de alguns periféricos internos do microcontrolador;
- INTCON – Ele realiza o comando das interrupções;
- STATUS – Responsável pelo armazenamento de *flags* matemáticas e os bits de seleção do banco de memória.

Os registradores W possuem características únicas, devido à sua função ser do destino de operações matemáticas e lógicas. Esse registrador não está mapeado na memória RAM do microcontrolador e sua principal utilidade é fazer a ligação com os registradores “f”. A utilização desse registrador é de fundamental importância já que na série dos PIC 16 não é possível realizar a troca diretamente entre registradores os registradores “f”. [23]

Também é utilizada a instrução GOTO que realiza um desvio incondicional do fluxo do programa. Ou seja, com a utilização dessa instrução pode-se pular para outra parte do programa. O local para onde o salto deve ser realizado é determinado na própria instrução. Já as interrupções são eventos externos ao programa e provocam a parada da execução. Quando ocorre esse tipo de evento, a instrução que está sendo executada só é completada quando o conteúdo do contador de programa é armazenado em uma pilha e esse endereço é chamado de vetor de interrupção. Elas ocorrem para que o CPU tenha conhecimento de um evento que ocorre no programa. [23]

5.3 O Resistor Depende da Luz

O Resistor Dependente da Luz ou Light Dependent Resistor (LDR) apresenta a característica de diminuir a resistência elétrica quando sobre o dispositivo é incidido uma energia luminosa. Devido à essa característica, esse sensor permite o controle de variáveis como tensão e corrente e assim possui ótimas características para implementação de vários tipos de controle. A figura 17 mostra um resistor dependente da luz.

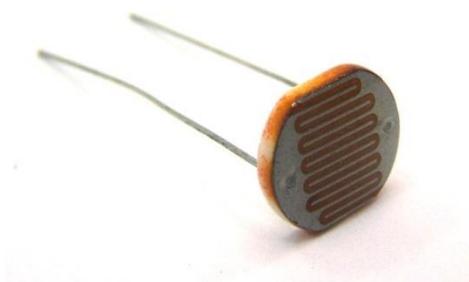


Figura 17 - Resistor Dependente da Luz.

Fonte: www.eletrodex.com.br

Sua constituição é composta por Sulfeto de Cádmio ou Sulfeto de Chumbo. Sendo assim, esses materiais, que são fotossensíveis, são conectados nos terminais e uma fina camada é exposta à incidência luminosa. Logo, é possível verificar quais as variações de resistência que ocorrem quando o material é exposto à incidência luminosa. A intensidade luminosa varia linearmente conforme a intensidade da luz incidente. [9]

A intensidade luminosa obedece a seguinte equação:

$$R = C.L.a \quad (5.1)$$

Sendo R a resistência resultante, L o valor da luminosidade em lux, C e a constantes do processo de fabricação do material.

O LDR foi colocado na entrada do pino1 do microcontrolador em série com um resistor de 10 k Ω , conforme é mostrado na figura 18.

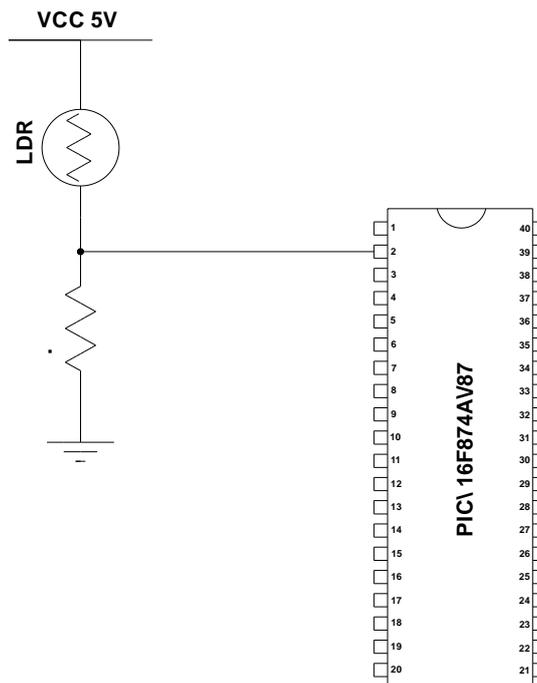


Figura 18 – Divisor Resistivo.

Logo, é possível verificar através do divisor resistivo qual o nível de tensão que está sendo aplicado. Sendo assim, a tensão de saída é dada pela equação:

$$V_{saída} = \frac{R_{resistor}}{R_{LDR} + R_{resistor}} \cdot V_{entrada} \quad (5.2)$$

Para a comprovação de que os valores da tensão de saída estão variando foram alocados *leds* na portD do microcontrolador. Assim, é possível detectar que conforme a luminosidade varia, ocorre também a variação da iluminação dos *leds*, mostrando que o sinal analógico na entrada do microcontrolador transforma-se em um sinal digital alocado no registrador do microcontrolador.

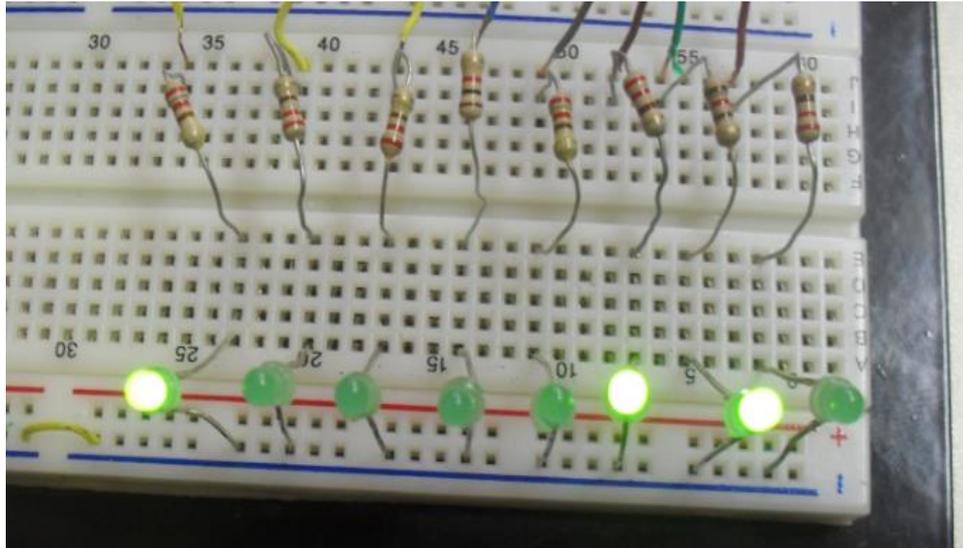


Figura 19 – Leds do Divisor Resistivo.

Cada um dos leds representa um valor digital da entrada do microcontrolador indicando o nível de tensão que esta sendo lido. Considerando o valor de entrada máximo de 5 volts o que transformado para um sinal digital representaria o valor 11111111 em binário. Esse valor em binário ao ser transformado para decimal representa 255. Assim o nível de tensão do valor descrito na figura 15, sabendo que o valor 00101111 refere-se a 47 em números decimais, é encontrado pela equação a seguir:

$$255 \cdot X = 47.5 \quad (5.3)$$

Logo o valor é:

$$x = \frac{47.5}{255} = 0,92 \text{ Volts}$$

Sendo assim, é possível verificar com facilidade as variações de tensão que ocorrem conforme a variação de luminosidade.

5.4 Ponte H para acionamento do Motor

Um dos circuitos mais importantes para a elaboração de um sistema automatizado é a ponte H. Esse circuito é utilizado para realizar o acionamento de motores de corrente contínua com origem de sinais provenientes de microcontroladores. Devido à disposição dos componentes que o circuito apresenta torna-se muito fácil realizar o controle de giro de um motor de corrente contínua. Isso acontece devido à intervenção que ocorre nos terminais desse motor. Além disso, ela torna-se de fundamental importância para circuitos digitais já que as portas dos microcontroladores não tem a capacidade de suportar a corrente e nem a tensão adequada para suportar o acionamento do motor diretamente. [10]

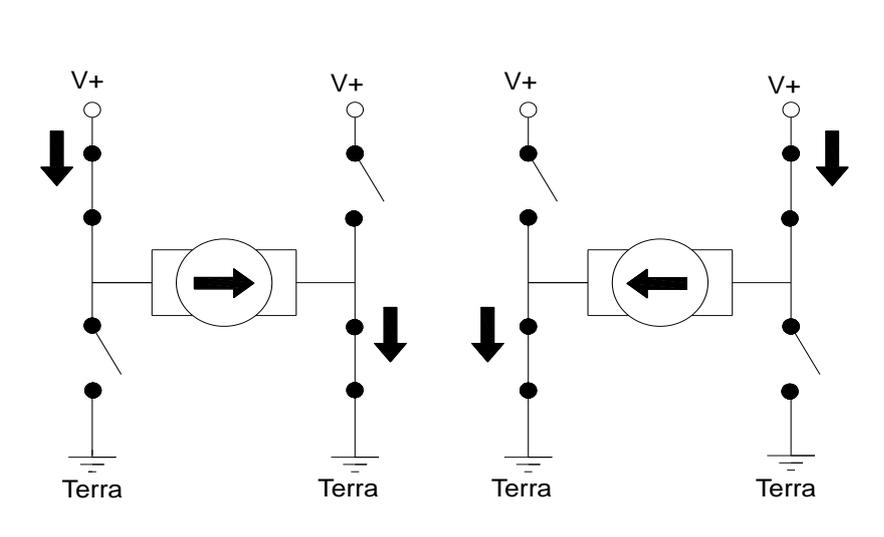


Figura 20 – Funcionamento da Ponte H

Para a realização do trabalho foi utilizada uma ponte H do modelo L298N. Esse drive possui um regulador de tensão integrado e opera com níveis de tensão de 6 a 35 volts. Esse modelo também possui duas saídas, logo pode realizar o controle de dois motores de corrente contínua simultaneamente. Para isso, o modelo apresenta dois jumpers um para cada motor. Ele também apresenta 4 pinos para receber o sinal de entrada do microcontrolador e dois pinos com jumpers para a realização do controle PWM dos motores, sendo que ao acionar cada um dos sinais corresponde ao fechamento dos contatos em antiparalelo em uma das portas da ponte H. [11] A figura 21 mostra o detalhe da ponte H utilizada no trabalho.

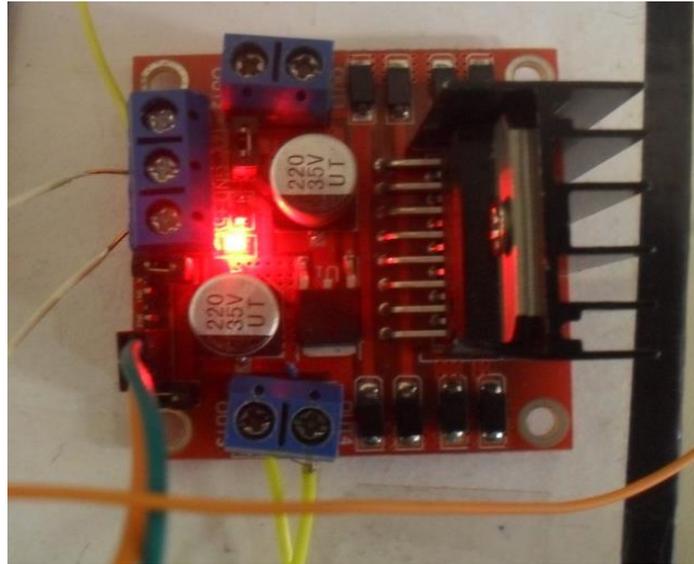


Figura 21 – Detalhe da Ponte H L298N

O modelo também conta com um dissipador de calor para que durante o funcionamento a temperatura não atinja o valor máximo de funcionamento, ou seja, atinja valores de temperatura que danifiquem os componentes. [12]

Na própria placa encontramos as descrições referentes a entradas e saídas sendo assim podemos identificar quais são os pinos que ativam cada motor e qual o sinal que fará girar para a esquerda ou para a direita.

Tabela 1. Níveis de Tensão para Acionamento do Motor

Motor	Entrada 1	Entrada 2
Horário	5 Volts	0 Volts
Anti-Horário	0 Volts	5 Volts
Desligado	0 Volts	0 Volts

Além de realizar o controle de dois motores esse drive também pode realizar o controle de servos motores e, como apresenta quatro sinais na saída, um motor de passo. A figura 22 apresenta o diagrama de bloco do drive.

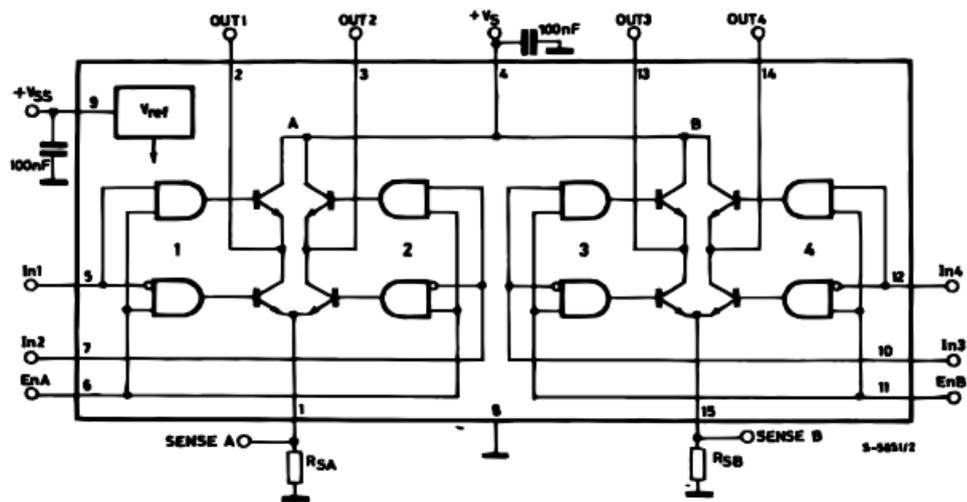


Figura 22 – Diagrama de Blocos L298N.

Fonte: Datasheet Bridge L298N

No trabalho foram utilizadas as portas out3 e out4 como saídas para o acionamento do motor e utilizada as entradas in3 e in4 para receber o sinal diretamente da porta do microcontrolador. A figura 23 mostra o microcontrolador associado com a ponte de acionamento do motor.

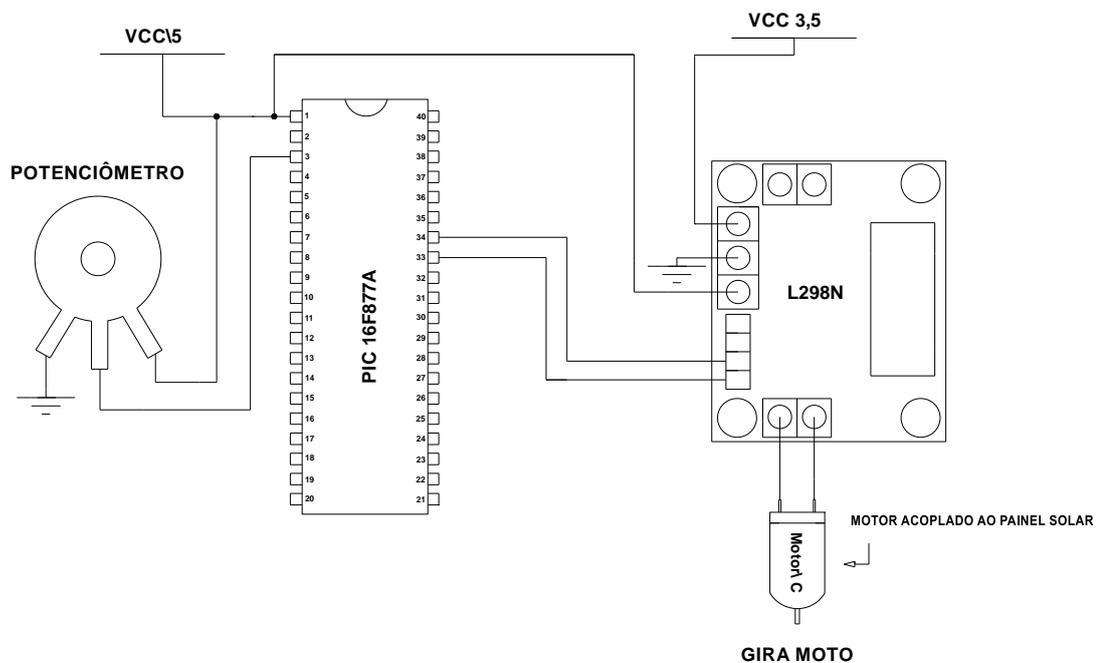


Figura 23 – Microcontrolador e Ponte H.

5.5 Potenciômetro

As chaves fim e curso têm por finalidade realizar um comando liga/desliga quando uma ação mecânica chega ao seu limite máximo. Ela pode ser implementada de várias formas como interruptores, chaves comutadoras, temporizadores ou qualquer outro dispositivo que realize uma ação mecânica que indique que uma determinada ação chegou ao seu ponto final. Elas são frequentemente utilizadas em diversos sistemas como abertura e fechamento de portas, sistemas de segurança na presença de objetos e proteção de equipamentos. [13] A figura 24 mostra o exemplo do funcionamento de uma chave-fim-de-curso.

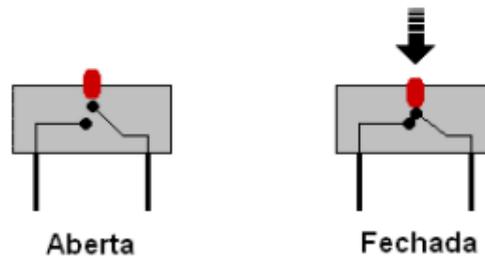


Figura 24- Exemplo de uma chave-fim-de-curso.

Fonte: Unesp

Nesse trabalho, foi necessário realizar o controle do movimento do painel de modo que ao chegar aos limites de movimento do painel o motor deveria mudar o seu sentido de rotação.



Figura 25 - Painel Solar Utilizado no Trabalho.

O painel solar utilizado no trabalho possui dimensões de 13 cm x 13 cm apresentando, segundo fabricante, uma corrente máxima de 400 mA e uma tensão de 6 Volts. Logo, uma potência máxima gerada de 2,4 Watts.

Para a realização do controle de velocidade foi utilizado um componente eletrônico para variar o valor da resistência elétrica. Escolheu-se um potenciômetro para ser utilizado como chave-fim-de-curso desse trabalho.

Ele funciona como um resistor variável, o que permite com facilidade realizar os ajustes dos níveis de tensão e de corrente. Seu funcionamento baseia-se em deslizar um botão sobre uma resistência tornando-a variável. [14]

O detalhe do funcionamento do potenciômetro é mostrado na figura 26.

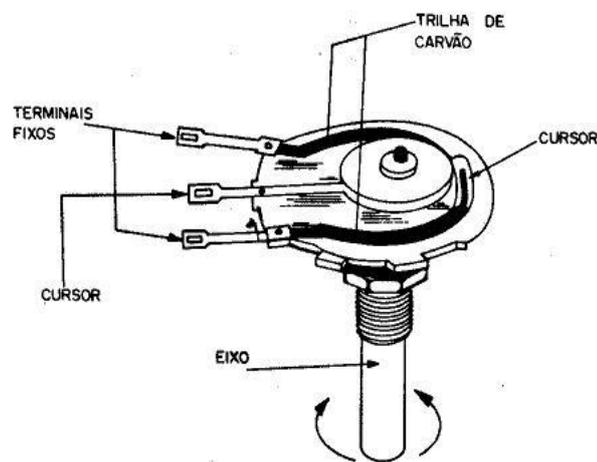


Figura 26 – Detalhe do Funcionamento do Potenciômetro

Fonte: www.clubedohardware.com.br

Sendo assim, um potenciômetro foi conectado a outro conjunto de engrenagens localizado no lado oposto ao motor. Logo, buscou-se encontrar um conjunto de engrenagens para padronizar que o ponto mínimo e o ponto máximo do potenciômetro formasse um ângulo bem próximo a 180 graus. A figura 27 mostra esse conjunto de engrenagens acoplado ao mesmo eixo que realiza o movimento da placa.



Figura 27 – Engrenagens do Potenciômetro.

Um dos terminais fixos do potenciômetro foi conectado em série com a alimentação do microcontrolador e o outro terminal ao pino de terra do circuito. O cursor, que é onde podemos identificar o valor que está sendo variado com o movimento do painel, foi conectado a uma das portas do registrador do microcontrolador. A figura 28 mostra a ligação entre o potenciômetro e o microcontrolador.

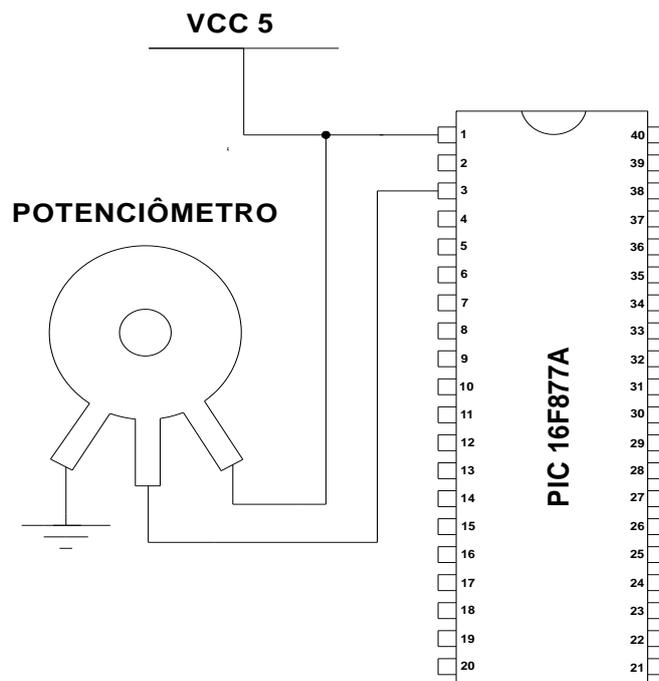


Figura 28 – Ligação entre o microcontrolador e Potenciômetro.

Logo, podemos concluir, sabendo que a alimentação do microcontrolador é de 5 volts em corrente contínua, que o valor da tensão no cursor do potenciômetro variará de 0 a 5 volts e que esse valor está sendo enviado para um registrador do microcontrolador. Então, implementou-se a lógica para que quando o valor da tensão recebida for mínima ou máxima o motor deverá inverter o sentido de giro.

5.6 Redutor de Velocidade

Os motores de corrente contínua são constituídos basicamente de duas partes fundamentais. O estator onde se encontram as partes fixas do motor e o rotor que é a parte móvel que se liga ao eixo. [6]

O motor utilizado no trabalho foi um motor de pequeno porte e de grande velocidade. Foi necessário utilizar um redutor de velocidade para tornarmos o movimento do painel mais lento quando acionado pelo motor. A figura 29 mostra o redutor de velocidade.

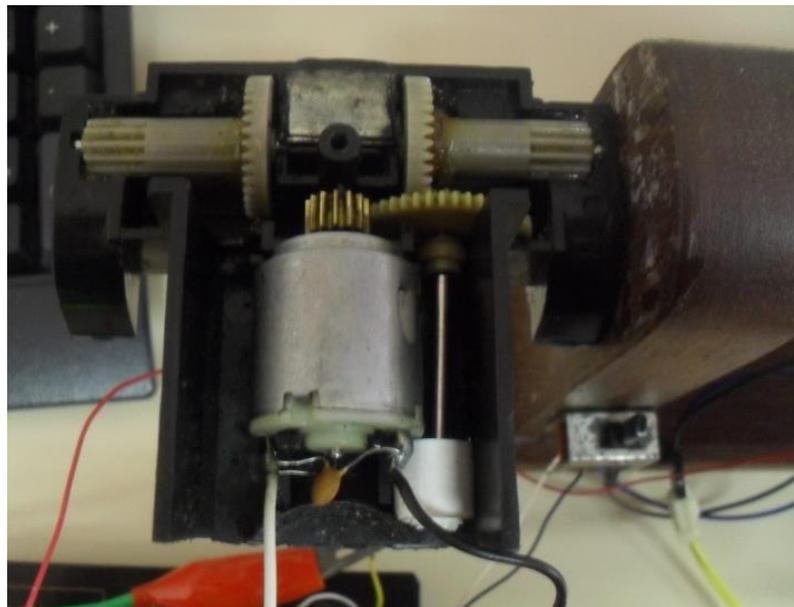


Figura 29 – Redutor de Velocidade.

Através desse sistema não é necessário recorrer à engrenagens de grande diâmetro ou a motoras compostas de poucas rodas dentadas. Esses redutores são feitos de engrenagens colocadas de forma que podemos estabelecer uma relação entre torque e velocidade no eixo do motor e no eixo que movimenta o painel. [15]

5.7 Acionamento do Circuito

A alimentação do circuito é realizada através de dois níveis de tensão. Sendo um para a alimentação do microcontrolador e outro para acionamento da ponte H. Durante a realização dos testes para acionamento do circuito observou-se que os níveis de tensão para alimentação da ponte H variavam conforme as modificações eram realizadas no protótipo. Logo, estipulou-se um valor médio de tensão de 3,5 volts para acionamento da ponte. Já o microcontrolador, conforme especificação do *Datasheet* foi acionado com 5 volts.

Para uma melhor configuração do circuito durante as montagens foi utilizado um regulador de tensão para realizar a alimentação do microcontrolador, evitando assim problemas como a eventual queima do componente por problemas como sobretensão.

O regulador de tensão tem a função de manter a tensão de saída estabilizada, mesmo que haja variações tanto na tensão ou na corrente de entrada. [16]

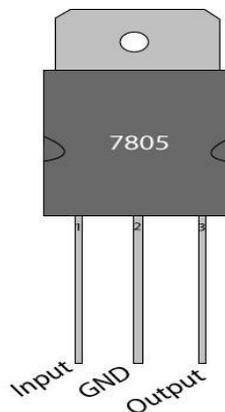


Figura 30 – CI 7805

Fonte: Engineersgarage

Esse regulador de tensão apresenta um valor máximo na entrada de 35 volts e uma tensão de saída de 5 volts regulada. A máxima corrente na saída é de 1 A e uma potência dissipada de 15 W. Entretanto, ao utilizarmos esse componente deve-se tomar o cuidado para que a tensão de entrada (Input) deve estar, no mínimo, 3 volts acima da tensão de saída (Output). [17]

Além disso, foi instalada no protótipo uma chave de acionamento para evitar que ao realizar os testes fosse necessário realizar as ligações diretamente na *protoboard*. Essa chave foi colocada entre o motor de corrente contínua e a ponte H. A figura 31 mostra o detalhe da chave de acionamento do motor.

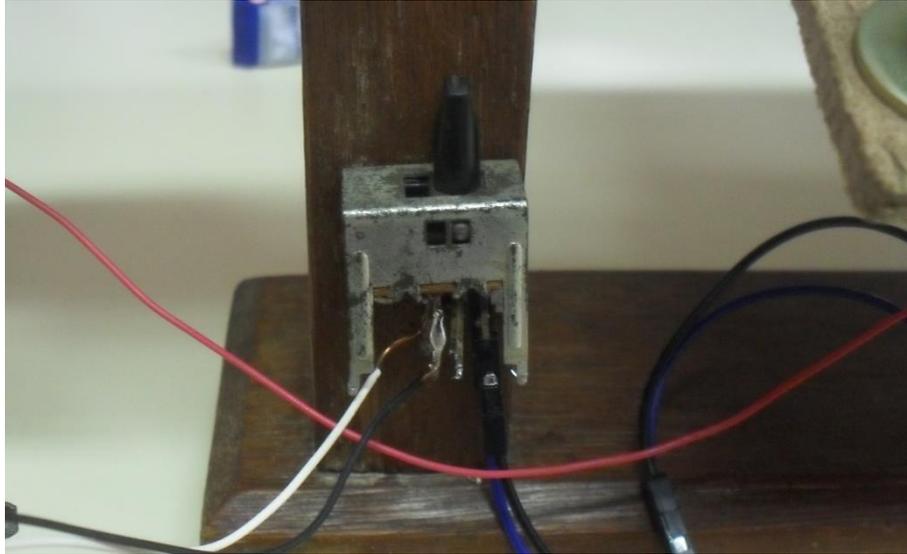


Figura 31 – Chave de Acionamento do Motor.

5.8 Montagem do Protótipo

A montagem do protótipo foi realizada no laboratório de Eletrotécnica da Unipampa. Foi utilizada uma base de madeira de aproximadamente 8 centímetros de largura e 28 centímetros de comprimento como base de sustentação. Nessa base foram fixadas duas hastes de madeira idênticas com aproximadamente 18 centímetros de altura e distantes 20 centímetros de distância entre elas. Essa madeira foi furada na altura de 11 centímetros onde foi colocado um eixo de plástico atravessando a mesma. No eixo foram fixados tanto do lado esquerdo como do lado direito duas engrenagens de plástico, sendo que no lado direito foi fixado a caixa de redução com o motor de corrente contínua e no lado esquerdo as engrenagens com o potenciômetro. A figura 32 mostra a vista lateral do protótipo.

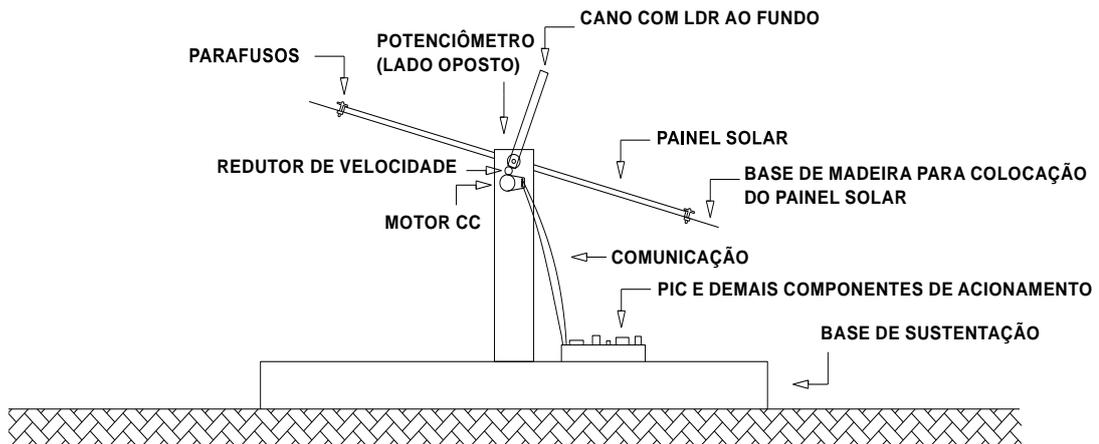


Figura 32 – Vista Lateral do Protótipo.

Sobre o eixo foi colocada uma pequena placa de madeira medindo 15x15 centímetros. Essa placa foi furada e, com a utilização de duas hastes de fixação com parafusos, foi prendida sobre o eixo de plástico. A placa de madeira foi novamente furada dessa vez nas extremidades, onde foram colocados 4 parafusos com porca e arruela. Assim, foi possível fixar a placa solar sobre a placa de madeira.

O motor de corrente contínua foi fixado com cola na lateral da haste de madeira e o potenciômetro foi parafusado com o auxílio de uma placa de metal na haste contrária. A figura 33 mostra a vista frontal do protótipo.

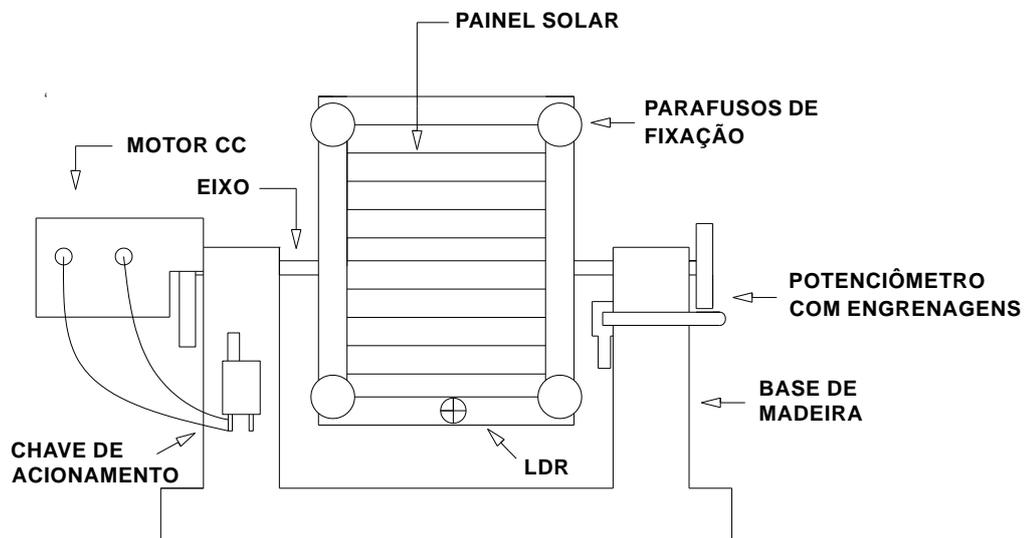


Figura 33 – Vista Frontal do Protótipo.

A chave de acionamento também foi fixada em uma das hastes de madeira e parafusada. A placa de madeira foi furada uma terceira vez para a colocação do LDR. A parte superior do componente ficou sobre a placa e seus terminais abaixo dela. Esses terminais foram isolados e soldados em um fio com aproximadamente

40 centímetros de comprimento. Esse fio foi fixado na protoboard onde foi feito o divisor resistivo.

Após a realização dos testes em protoboard e devido a problemas de contato encontrados na montagem, principalmente no cristal oscilador do microcontrolador, foi realizada a montagem do circuito no software Proteus. A figura 34 mostra a montagem realizada..

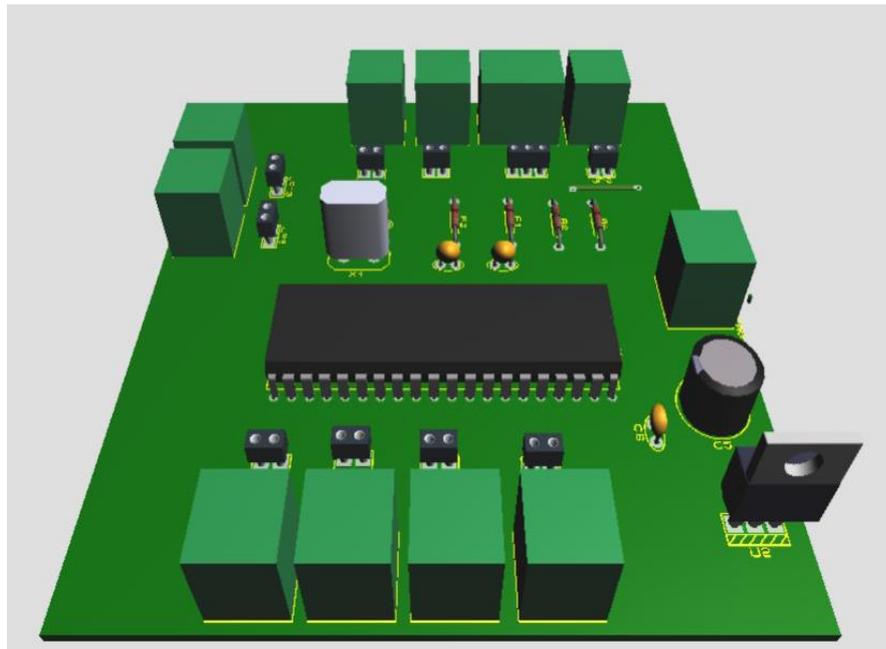


Figura 34 – Protótipo Montado no Software Proteus.

Os componentes foram soldados na placa e novamente a mesma foi fixada em uma placa de madeira juntamente com a ponte H. A figura 35 mostra o detalhe da simulação realizada no software Proteus.

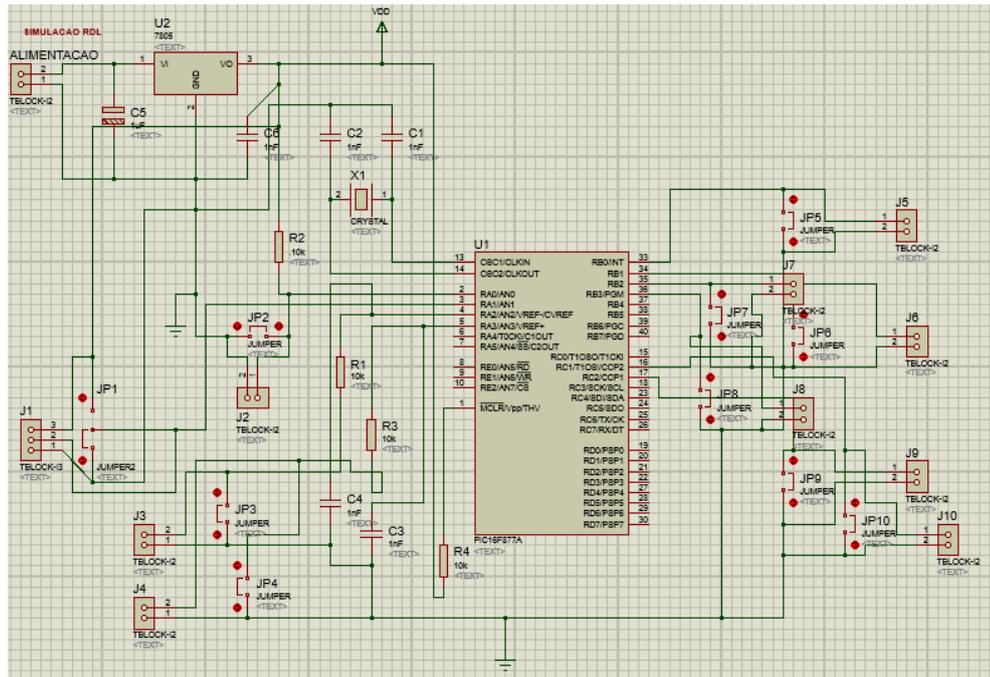


Figura 35 – Simulação Realizada no Software Proteus.

A figura 36 mostra o circuito desenhado no software Proteus.

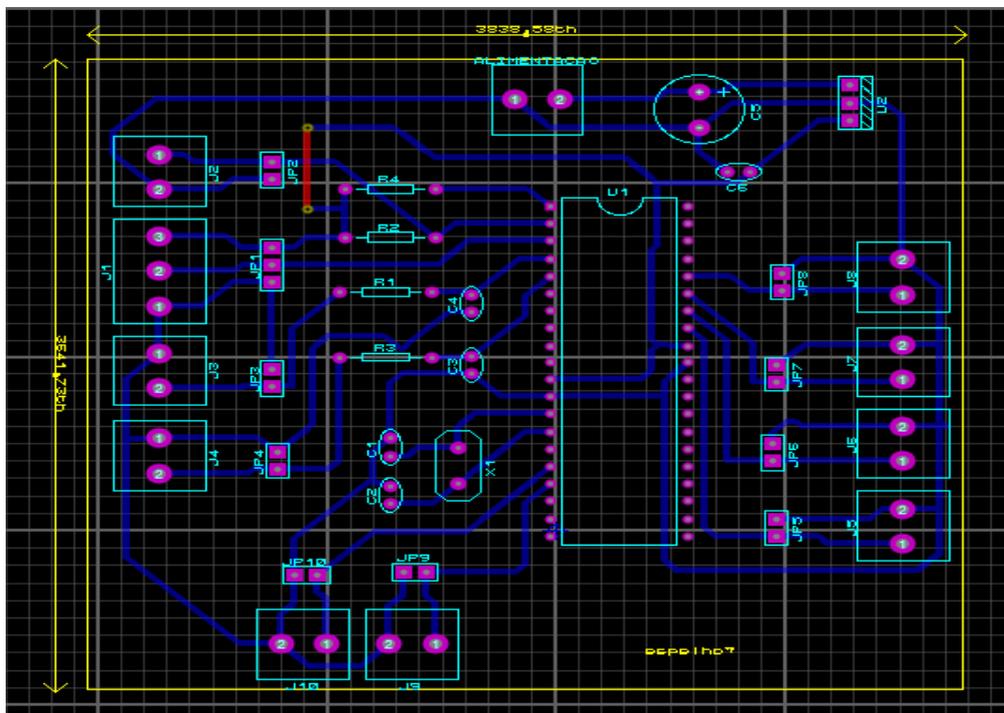


Figura 36 – Circuito Elétrico.

Após a realização das simulações e impressão da placa foi realizado processo de soldagem de componentes como é mostrado na figura 37. A placa apresenta as dimensões de 10 cm x 10 cm.

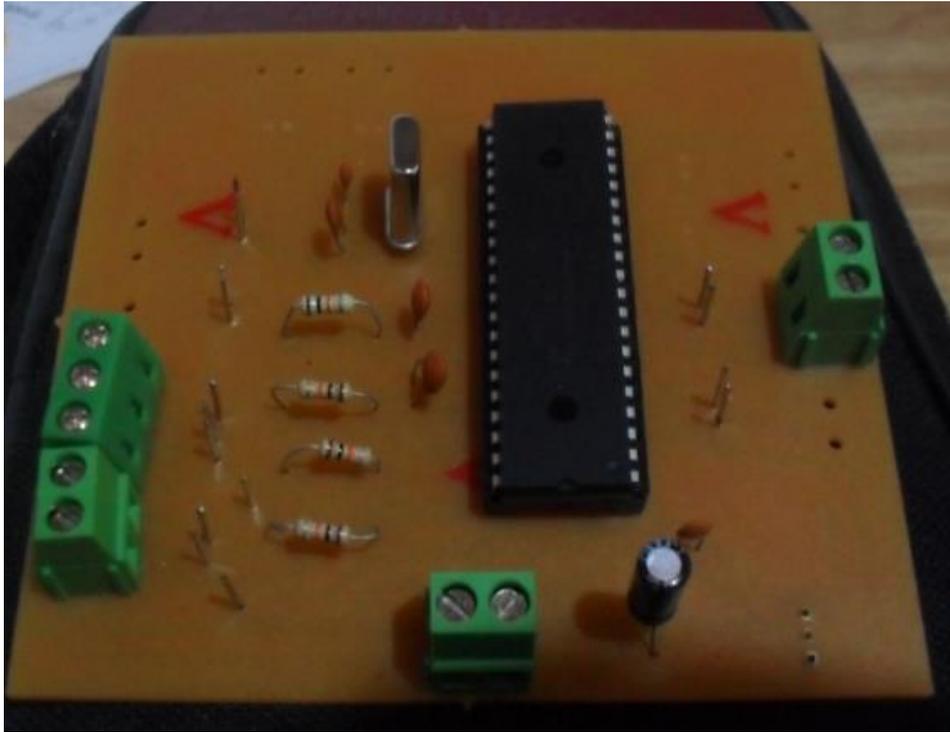


Figura 37 – Placa com Componentes Soldados.

A figura 38 mostra a montagem final do protótipo em protoboard.

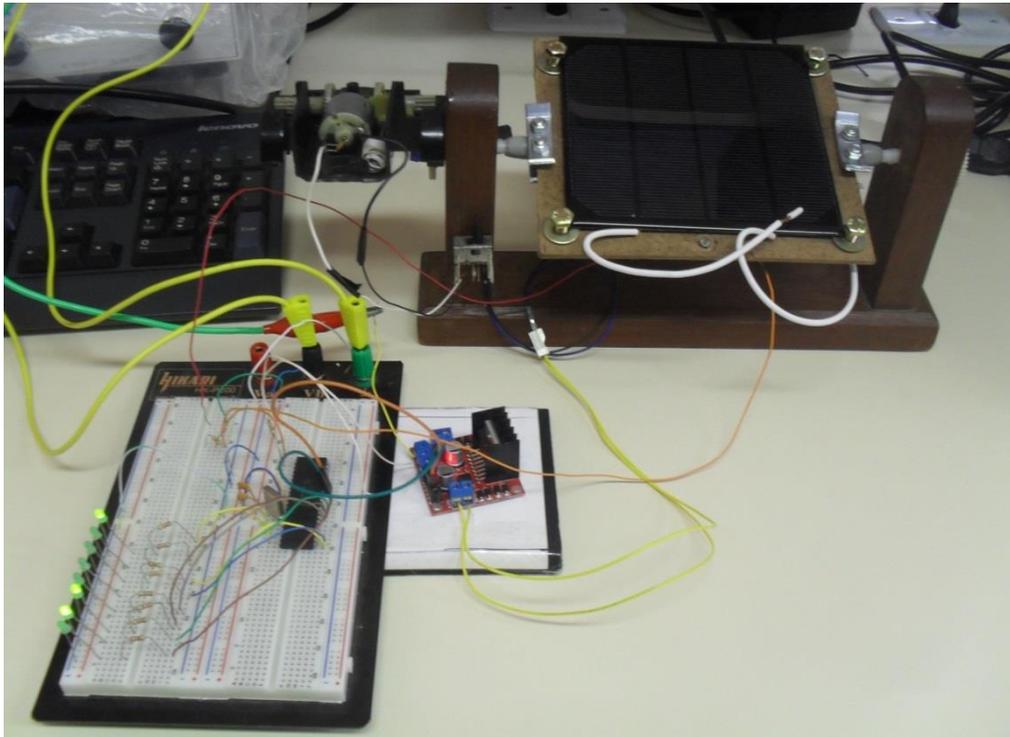


Figura 38 - Montagem Final em Protoboard.

5.9 Funcionamento do Protótipo

O motor de corrente contínua é acionado primeiramente para a direita e depois para a esquerda. Sendo que em cada varredura são dados 15 pulsos de tensão. Em um primeiro estágio é feita a varredura completa dos 15 intervalos completando os 180 graus de varredura do painel solar. Esses valores são guardados pelo registrador do microcontrolador.

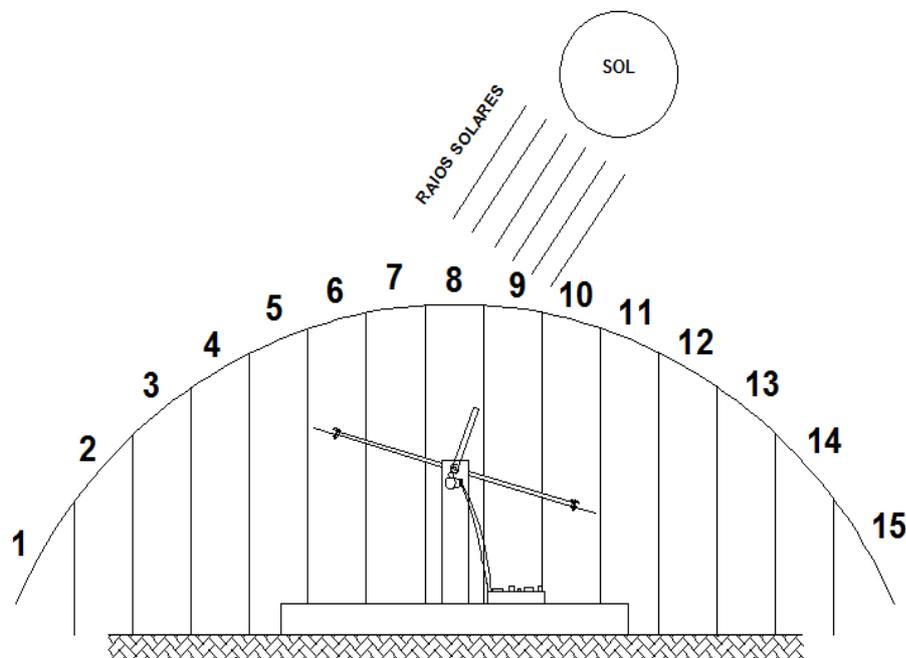


Figura 39 – Funcionamento do Painel Solar.

As engrenagens que movimentam o motor de corrente contínua estão conectadas com as engrenagens do outro lado da placa onde está conectado o potenciômetro. Outro registrador do microcontrolador guarda os valores de tensão do potenciômetro. Dessa forma, o microcontrolador sabe o valor de tensão do potenciômetro em que a iluminância registrada pelo LDR é maior.

Sendo assim, após a realização da varredura estão guardados nos registradores do microcontrolador o valores lidos pelo LDR e o valor da tensão no potenciômetro.

Logo, após atingir o limite máximo de tensão e realizar a inversão do giro do motor é realizada uma última comparação. O valor da tensão no potenciômetro já

está guardado no registrador. Em seguida é realizada uma última comparação fazendo a parada do motor quando o mesmo atinge o valor de tensão guardada no potenciômetro. Após a parada começa um temporizador e novamente repete-se o ciclo. A figura 40 mostra o fluxograma do programa.

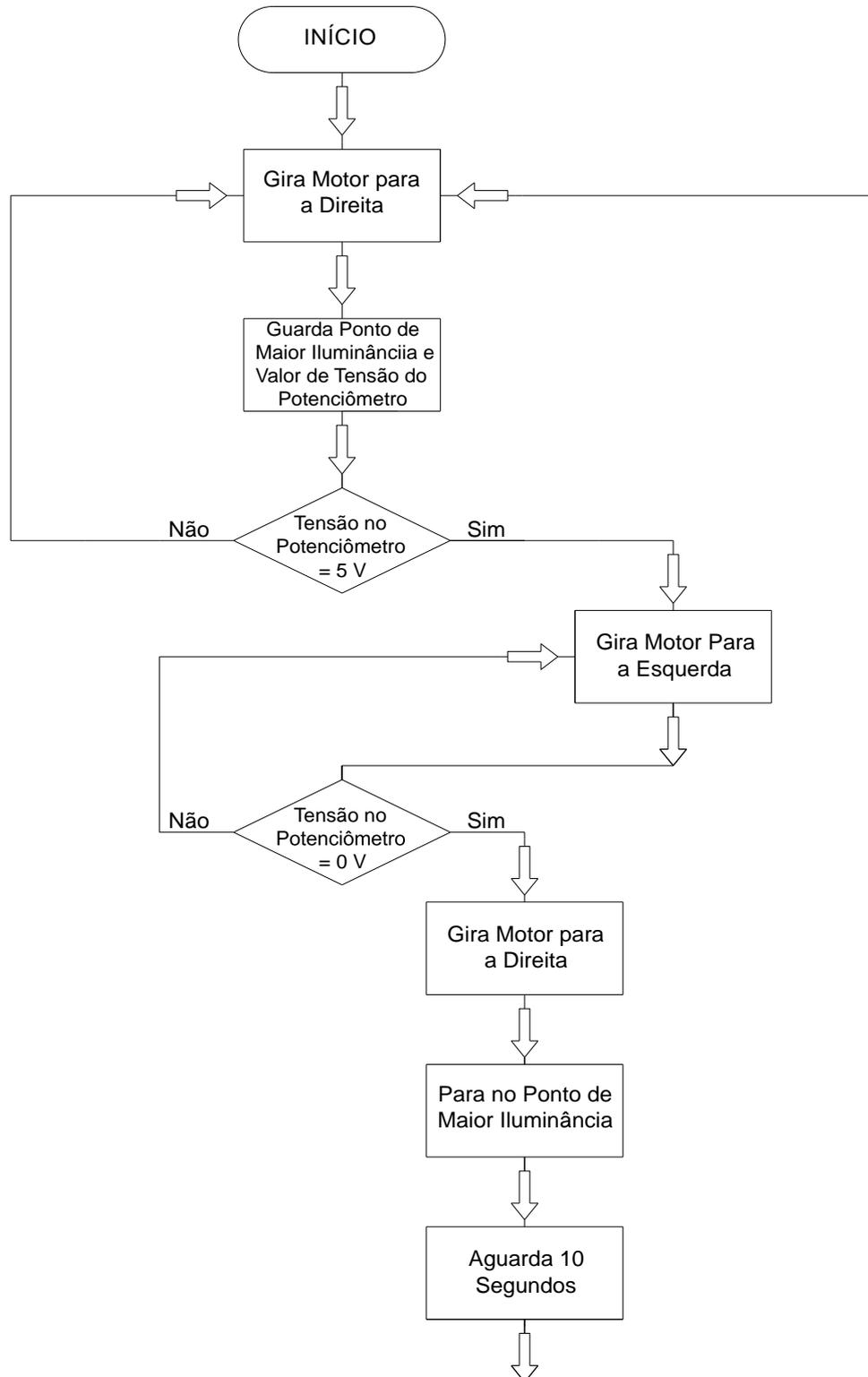


Figura 40 – Fluxograma de Funcionamento.

5.10 Conclusão

Nesse capítulo foram mostrados os conceitos básicos sobre os algoritmos de rastreamento de máxima potência. Além disso, foram apresentadas todas as etapas realizadas para montagem do protótipo de rastreamento solar. A utilização do resistor dependente da luz como sensor de rastreamento solar, a redução de velocidade utilizada, a descrição do funcionamento do código implementado e chaves de acionamento e fim de curso.

6 RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Para a comprovação do método de rastreamento foram realizados testes experimentais comparando três condições de rastreamento em horário de sol pleno.

É considerado horário de sol pleno as horas do dia de uma determinada localidade em que a irradiação solar ultrapassa 1000 W/m^2 . Sendo assim, esse número de horas representa o total da energia acumulada durante um dia inteiro, a figura 41 mostra uma representação da curva real mostrando a radiação nas horas de sol pleno. [7]

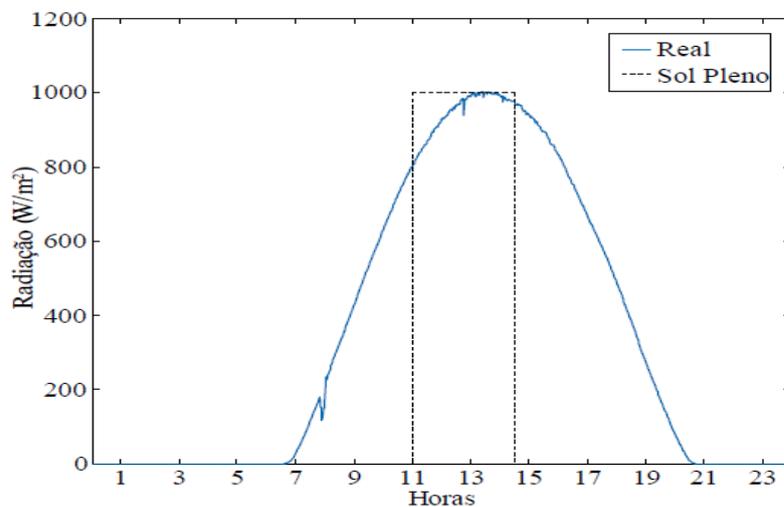


Figura 41 – Horário de Sol Pleno.

Fonte: www.moodle.unipampa.edu.br

Logo, foi realizado o estudo em três condições diferentes para que fosse possível comparar a geração de energia obtida do painel em três condições diferentes.

O município de Alegrete/RS apresenta um ângulo de latitude igual a 29 graus norte, logo ao deixarmos o painel fixo essa seria uma das melhores possibilidades de geração de energia. Ademais, devido ao movimento do sol apresentar uma órbita elíptica, em determinadas épocas do ano torna-se melhor utilizar o painel paralelo ao plano horizontal. [8]

A tabela 2 apresenta o gráfico da irradiação solar média anual na cidade de Alegrete realizando o comparativo entre o plano horizontal, o ângulo igual à latitude da cidade e a maior e menor média anual.

Tabela2. Irradiação Solar em Alegrete/RS

Mês	Plano Horizontal	Ângulo Igual à Latitude	Maior Média Anual	Maior Mínimo Mensal
Janeiro	6,08	5,41	5,62	4,47
Fevereiro	5,89	5,63	5,77	4,88
Março	5,03	5,32	5,34	4,94
Abril	4,00	4,80	4,71	4,81
Mai	3,28	4,45	4,28	4,75
Junho	2,53	3,56	3,40	3,87
Julho	3,06	4,31	4,11	4,67
Agosto	3,67	4,63	4,50	4,77
Setembro	4,44	4,91	4,89	4,70
Outubro	5,36	5,28	5,38	4,68
Novembro	6,83	6,16	6,39	5,10
Dezembro	7,00	6,07	6,35	4,89

Fonte: Cepel

A figura 41 apresenta um gráfico mostrando as variações da irradiação solar em cada mês na cidade. Pode-se observar através do gráfico que durante o período do verão é melhor utilizar a placa no plano horizontal. Contudo, já nos períodos dos meses mais frios a irradiação solar é mais absorvida quando a placa é posicionada no ângulo da latitude.

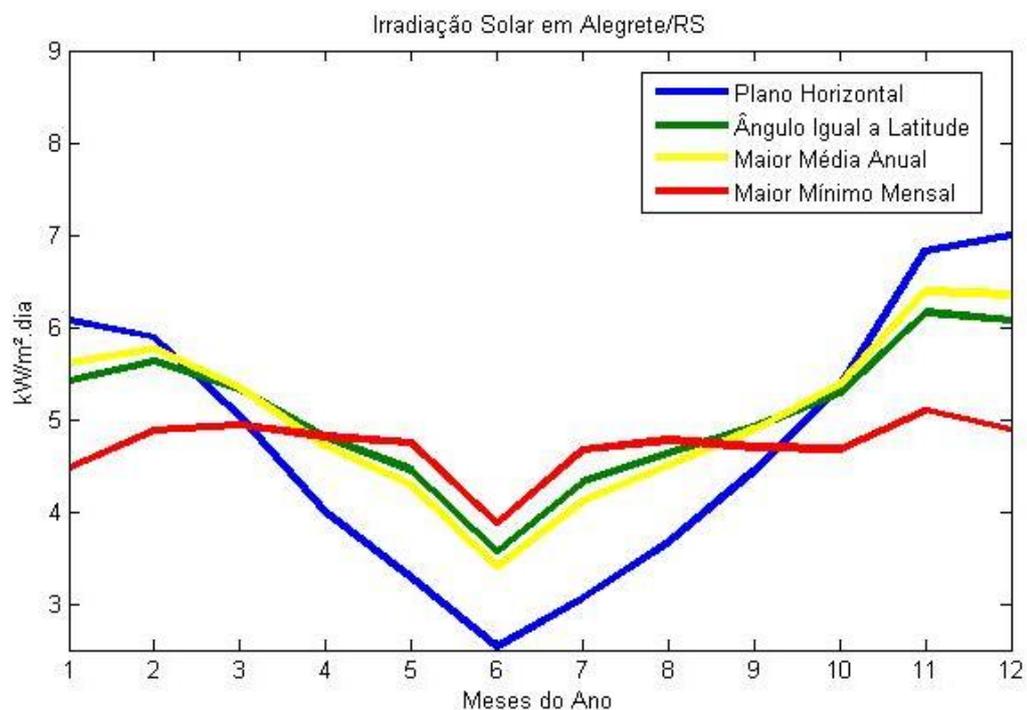


Figura 42 – Gráfico Comparativo da Irradiação Solar em Alegrete/RS.

Para a realização dos testes foram realizados registros dos valores de tensão e corrente das 10 horas da manhã até às 14 horas da tarde (horário de sol pleno) para as três condições de rastreamento. A figura 43 mostra a como foram obtidas as medições de corrente geradas no painel.

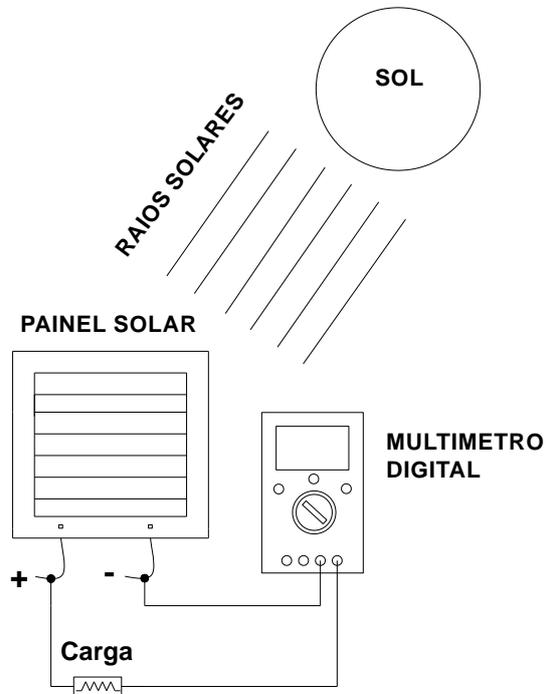


Figura 43 – Ligação para Medição da Corrente.

Devido haver apenas um painel solar para a realização dos testes, os dados foram obtidos em intervalos de 5 minutos entre as três condições de rastreamento. Contudo, todos os dados foram obtidos em um dia em que o sol não esteve encoberto por nenhum período de tempo durante a coleta de dados.

A figura 44 mostra como foram obtidas as medidas de tensão do painel.

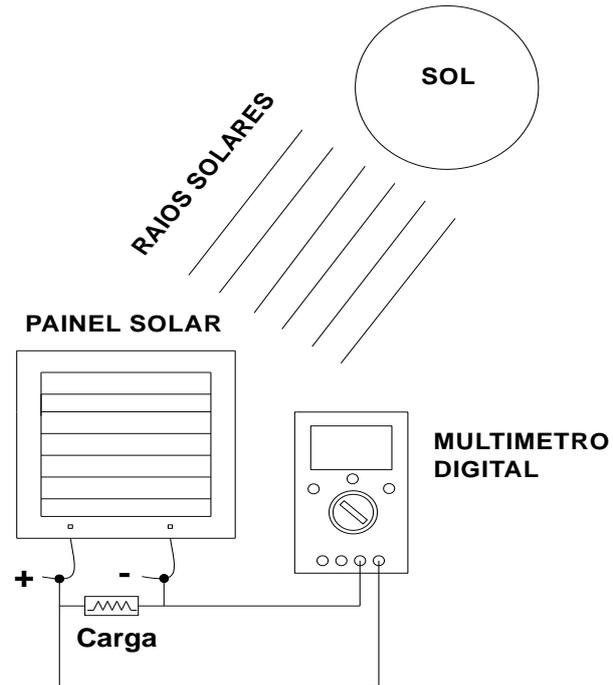


Figura 44 – Ligação para Medição da Tensão.

A figura 45 mostra o painel solar colocado na posição paralela ao plano horizontal.

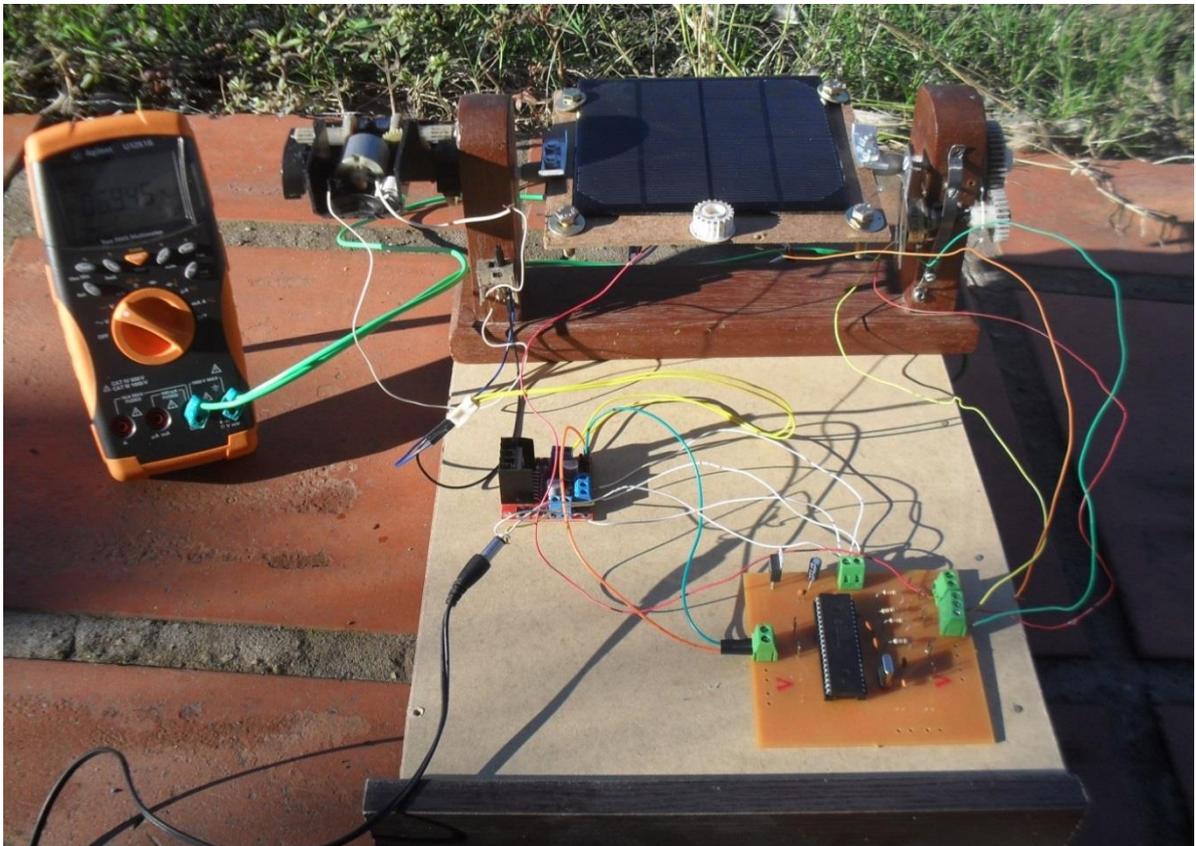


Figura 45 – Painel posto na Horizontal.

A tabela 3 mostra os valores de tensão, corrente e potência gerados pelo painel para a condição do painel estacionário paralelo ao eixo horizontal.

Tabela3. Comparativo Entre Tensão, Corrente e Potência para o painel no Eixo Horizontal.

Horário	Tensão (V)	Corrente (mA)	Potência (mW)
10:00	6,67	13,45	89,71
10:30	6,71	12,65	84,88
11:00	6,79	12,78	86,77
11:30	6,90	13,01	89,76
12:00	6,95	13,46	93,54
12:30	6,89	12,88	88,74
13:00	6,88	11,98	82,42
13:30	6,74	12,05	81,21
14:00	6,77	11,67	79,00

Logo após, foi realizada as medições para o painel colocado a 29 graus norte, ângulo da latitude da cidade.

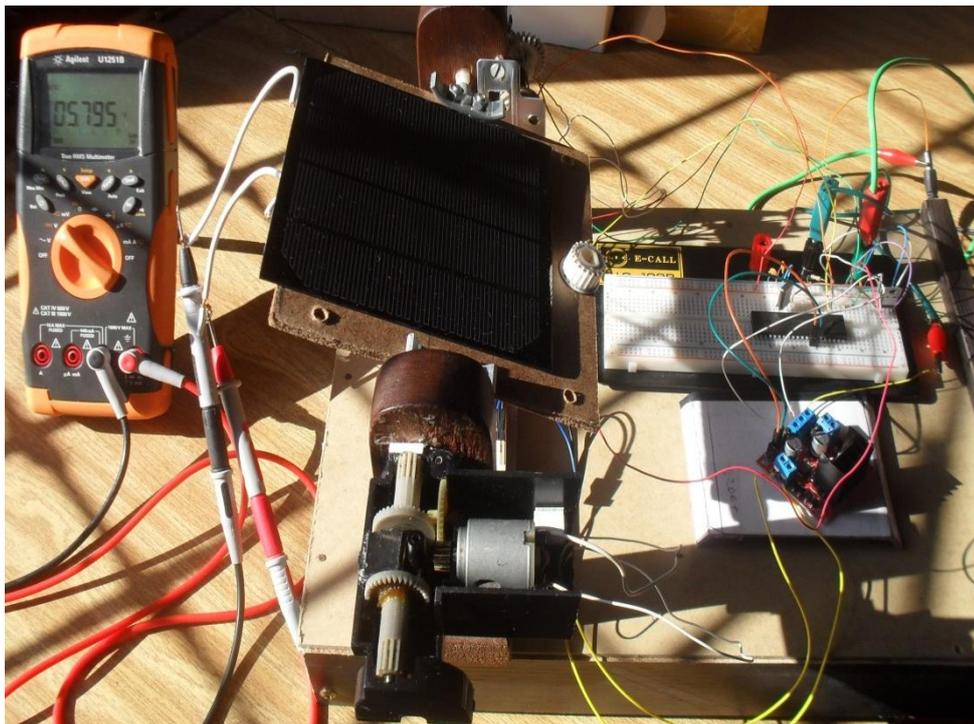


Figura 46 – Painel posto na latitude de 29 graus Norte.

A tabela 4 mostra os valores de tensão, corrente e potência gerados pelo painel para a condição do painel estacionário colocada a 29 graus norte.

Tabela4. Comparativo Entre Tensão, Corrente e Potência para o painel a 29 Graus Norte

Horário	Tensão (V)	Corrente (mA)	Potência (mW)
10:05	5,70	9,36	53,35
10:35	5,71	9,45	53,95
11:05	5,18	8,97	46,46
11:35	5,67	9,01	51,08
12:05	5,76	10,18	58,63
12:35	5,47	10,53	57,59
13:05	6,18	10,35	63,96
13:35	6,04	10,39	62,75
14:05	5,87	10,74	63,04

Posteriormente, foi realizada as medidas de tensão, corrente e potência para o painel utilizando a técnica de rastreamento solar com o LDR. A tabela 5 mostra o rastreamento utilizando a técnica de busca implementada.

Tabela5. Comparativo Entre Tensão, Corrente e Potência Através do Rastreamento com o LDR.

Horário	Tensão (V)	Corrente (mA)	Potência (mW)
10:10	6,95	13,78	95,77
10:40	6,98	14,00	97,72
11:10	7,01	13,84	97,01
11:40	6,91	13,11	90,59
12:10	6,94	13,61	94,45
12:40	6,78	13,65	92,54
13:10	6,87	13,70	94,11
13:40	7,03	13,41	94,27
14:10	6,99	13,42	93,80

Foi utilizado uma carga $10\text{ k}\Omega$ na saída do painel. O gráfico comparativo das três possibilidades é mostrado na figura 47.

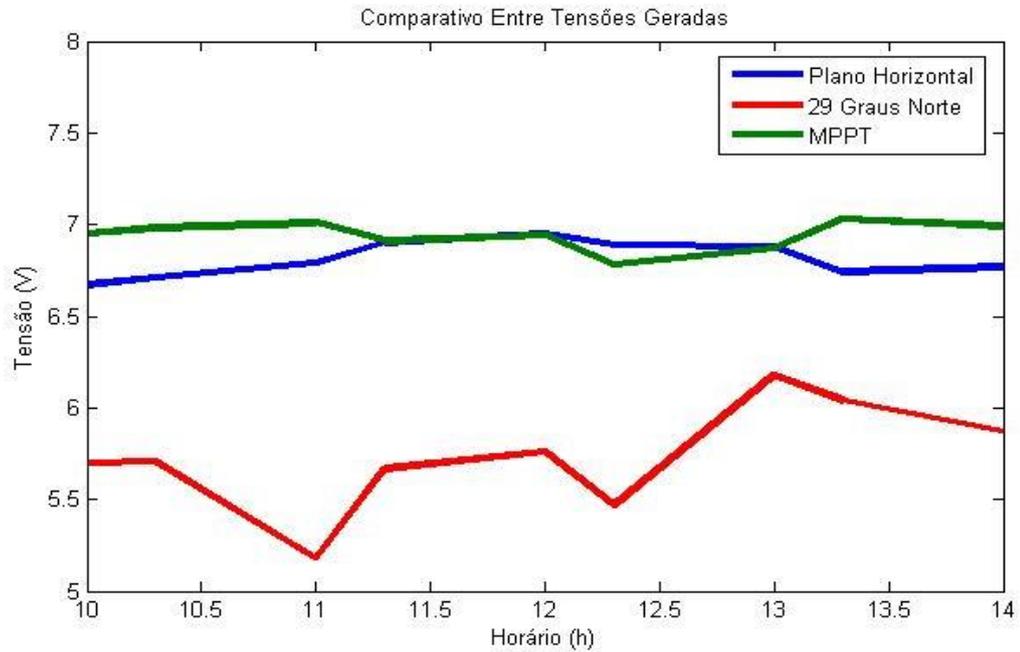


Figura 47 – Comparação entre as três medidas de Tensão.

O gráfico comparativo das três possibilidades de rastreamento com os valores de corrente gerados pelo painel é mostrado na figura 48.

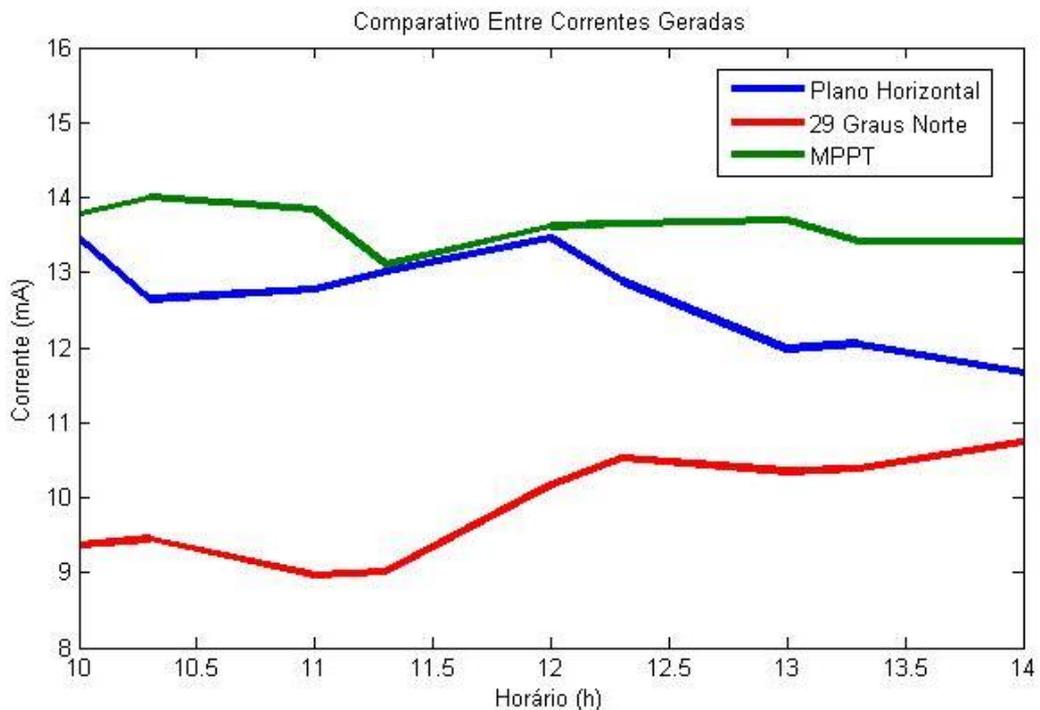


Figura 48 – Comparação entre as três medidas de Corrente.

Por fim, foram realizadas comparações entre as potências geradas pelo painel como é mostrado na figura 49.

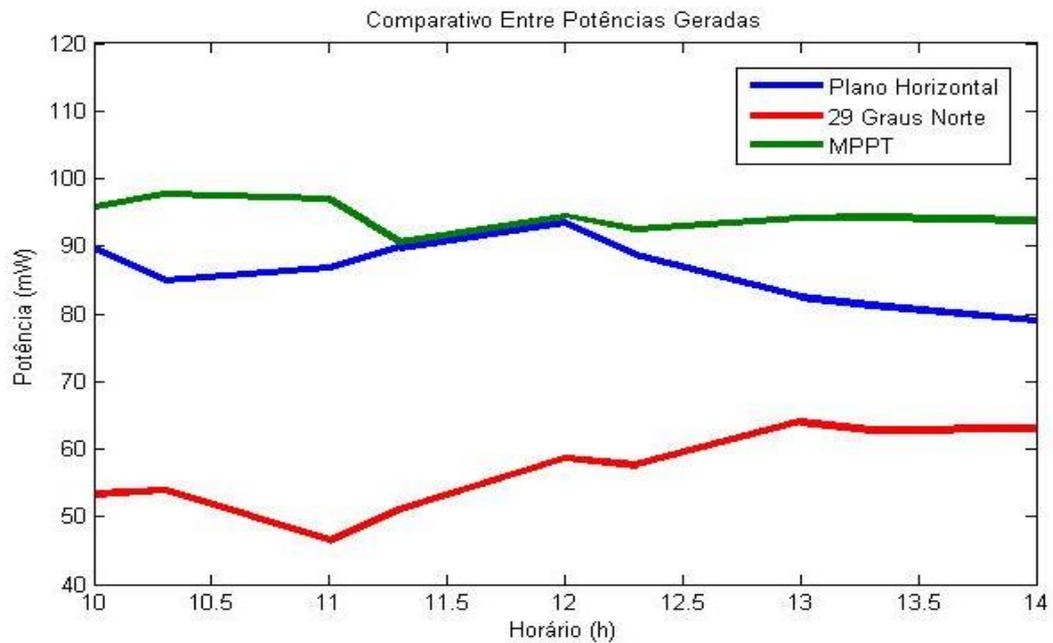


Figura 49 – Comparação entre as três medidas de Potência.

6.1 Conclusão

Em vista dos dados apresentados entre as comparações entre as três comparações realizadas. Foi observado que o rastreamento utilizando o resistor dependente de luz foi o que apresentou os maiores níveis de potência gerada. Além disso, o método apresentou características lineares durante todo o período de geração sendo apenas equivalente a placa colocada horizontalmente nos horários próximos ao meio dia. Contudo, a placa posta horizontalmente ao plano do solo apresentou valores de pico próximos ao meio dia, mas não se obteve os mesmos valores quando comparados a outros horários mais afastados do meio dia. Já a placa colocada a uma inclinação de 29 graus norte obteve valores mais baixos quando comparado com os outros dois métodos tem sua maior capacidade de geração em horários próximos às 14 horas.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em virtude das condições atuais do planeta devido ao esgotamento iminente dos recursos fósseis. É imprescindível a busca por soluções energéticas mais limpas. Sendo assim, são de fundamental importância estudos que busquem um maior aproveitamento energético, principalmente, das energias menos agressoras ao meio ambiente.

A técnica utilizada para o desenvolvimento do trabalho apresentou resultados satisfatórios, de modo que os dados mostrados na implementação do protótipo apresentaram níveis de potência gerada mais elevadas do que as condições com o painel estacionário.

Outro fato importante a ser ressaltado, é que o custo para a realização do protótipo foi bem baixo, isso devido a uso de motores de corrente contínua que no geral são mais baratos que motores de passo e servos motores.

7.1 Trabalhos Futuros

Apesar dos resultados obtidos mostrarem que o experimento com o resistor dependente de luz apresenta uma potência gerada mais expressiva ficam algumas questões em aberto sobre a real eficiência do método.

Uma das mais importantes é sobre os gastos com energia gerados pelo movimento do painel. Devido ao código implementado realizar uma busca completa é necessário realizar uma busca com um ângulo de varredura de 180 graus para se encontrar o ponto de melhor geração. Portanto, é necessário realizar uma implementação que realize apenas a perturbação do painel em intervalos menores de tempo e não uma varredura completa.

Outra questão importante é sobre o acionamento do motor de corrente contínua. Também é necessário realizar testes com painéis maiores para ver se o motor tem condições físicas de ser utilizado em painéis de grande porte.

Além disso, como pesquisa futura, é sugerido utilizar um método o que utilizaria dois motores. Um para movimento do resistor dependente da luz e outro para o movimento da placa, assim se gastaria bem menos energia.

REFERÊNCIAS

- [1] REIS, Lineu Belico. **Energia Elétrica e Sustentabilidade: Aspectos tecnológicos e socioambientais**. 1 ed, 225f. Barueri, 2006.
- [2] LYRA, Fraideraich. **Energia Solar: Fundamentos e Tecnologia de Conversão Heliotermoeletrica e Fotoeletrica**. 3 ed. 178f. Universitária da UFPE, 1995.
- [3] BORGES, Manuel Rangel. **Geração de Energia Elétrica**. 1 ed. 245f. São Paulo, 2012.
- [4] Rios, Willian. **Estudo dos Limites de Operação de Conversores CC-CC Aplicados a Sistemas Fotovoltaicos com o Uso de Dados Reais de Radiação Solar**. 77f. Universidade Federal do Pampa, 2015.
- [5] Santos, Leonardo de Sá Leal. **Sistemas de Comunicação USB com Microcontrolador**. 69f. Universidade de Pernambuco, 2009.
- [6] Kosov, Lionel Irving. **Máquinas Elétricas e Transformadores**. 4 ed. 668f. Porto Alegre 1982.
- [7] Sebastião Guilherme. **Apostila de Recursos Energéticos Renováveis**. Disponível em: <moodle.unipampa.edu.br/course/view.php?id=2912>. Acesso em 5 março de 2015.
- [8] **Atlas Solarimétrico do Brasil**. CRECESB, 2015. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Atlas_Solarimetrico_do_Brasil_2000.pdf. Acesso em 16 de mai. 2015.
- [9] UFRJ. **Resistor Dependente da Luz**. Disponível em: http://www.gta.ufrj.br/grad/01_1/contador555/ldr.htm. Acesso em 05 de junho de 2015.
- [10] Robótica. **Ponte H**. 2015. Disponível em: <http://www.maxwellbohr.com.br/downloads/robotica/mec1000_kdr5000/tutorial_eletronica__montagem_de_uma_ponte_h.pdf>. Acesso em 05 de maio de 2015.
- [11] Datasheet. **Ponte H**. Disponível em: <http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/22437/STMICROELECTRONICS/L298.html>. Acesso em 07 de maio de 2015.
- [12] UFRJ. **Dissipadores**. 2015. Disponível em: <<http://www.gta.ufrj.br/~doc/dissipadores.pdf>>. Acesso em 12 de maio de 2015.
- [13] UNESP. **Sensores**. 2015. Disponível em: <<http://www2.feg.unesp.br/Home/PaginasPessoais/ProfMarceloWendling/4--.0.pdf>>. Acesso em 11 de maio de 2015.

[14] ELETRONICA. **Potenciômetro**. 2015. Disponível em: <<http://www.portaleletricista.com.br/potenciometro/>>. Acesso em 13 de maio de 2015.

[15] BIGATON CLAUDINEI. **Projetos Mecânicos**. 2015. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAA63cAG/redutor-velocidade>>. Acesso em 13 de maio de 2015.

[16] WENDLING MARCELO. **Reguladores de Tensão**. 2015. Disponível em **Potenciômetro**. 2015. Disponível em: <<http://www2.feg.unesp.br/Home/PaginasPessoais/ProfMarceloWendling/2--.0.pdf>>. Acesso em 13 de maio de 2015.

[17] Datasheets. **LM7805**. 2015. Disponível em: <<https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/LM7805.pdf>>. Acesso em 15 de maio de 2015.

[18] Paiva Moraes, Euler. **Seguidor Solar de um Único Eixo Inclinado**. Disponível em: <<http://www.repositorio.uniceub.br/bitstream/235/3636/3/Monografia%20EULER%20MORAES%20-2-2012.pdf>>. Acesso em: 05 de jun. de 2015.

[19] Ruter, Ricardo. **Edifícios solares fotovoltaicos**: 1 Ed. 133 f. Florianópolis 2004.

[20] Linguagem de Programação. **Assembly**. 2015. Disponível em: <<http://www.hardware.com.br/termos/assembly>>. Acesso em 13 de maio de 2015

[21] UFPA. **Assembly**. 2015. Disponível em: <<http://www3.ufpa.br/marcelo/Home%20Page/assembly/asm.PDF>>. Acesso em 08 de junho de 2015.

[22] FAPESP. **Estoque de Energia Ar Líquido**. 2015. Disponível em: http://agencia.fapesp.br/reino_unido_vai_usar_ar_liquido_para_estocar_energia/19210/. Acesso em 12 de março de 2015.

[23] Pereira, Fabio. **Microcontroladores PIC – Técnicas Avançadas**. 6 Ed. São Paulo, 2010

ANEXOS

Código Utilizado no Microcontrolador:

```
PROCESSOR 16f877a
#include "P16F877A.INC"
```

```
PMIN EQU 0X35 ;
MADC EQU 0X36 ;
CT1S EQU 0X3A ;
CT10 EQU 0X3B ;
CTFINAL EQU 0X34 ;
FPOS EQU 0X3C ;
```

```
TEMP EQU 0X3D ;
ANGULO EQU 0X3E;
ANGULO_MIN EQU 0X3F ;
```

```
W_TEMP EQU 0x6c
STATUS_TEMP EQU 0x6d
PCLATH_TEMP EQU 0x6e
```

```
#DEFINE VT1S .1;
#DEFINE VT10 .1;
#DEFINE VTFINAL .20 ;
```

```
#DEFINE MIN_ANGULO .20 ;
#DEFINE MAX_ANGULO .200 ;
```

```
.*****
,
    ORG 0X00
    GOTO CONFIGURACAO

    ORG 0X04
    GOTO INTERRUPTACAO
.*****
,
```

CONFIGURACAO

```
BSF STATUS,RP0 ;
```

```
BSF PIE1,TMR1IE ; INTERRUPTACAO TMR1
```

```
MOVLW B'00000011' ;
MOVWF TRISA ; AN0 - LDR;
```

```
MOVLW B'00001001'  
MOVWF ADCON1  
  
CLRF TRISB  
  
CLRF TRISD  
CLRF TRISC  
  
BCF STATUS,RP0 ;  
  
MOVLW B'00110100'  
MOVWF T1CON  
  
MOVLW B'01000001'  
MOVWF ADCON0  
  
BSF INTCON,5  
BSF INTCON,6  
BSF INTCON,7  
  
MOVLW VT1S ;  
MOVWF CT1S  
  
MOVLW VT10 ;  
MOVWF CT10  
  
MOVLW VTFINAL ;  
  
MOVWF CTFINAL  
  
MOVLW 0xFF  
MOVWF PMIN ;  
  
MOVLW B'00000000'  
MOVWF FPOS ;  
  
CLRF PORTB  
CLRF PORTC  
  
CLRF TMR0  
BSF STATUS,RP0  
MOVLW B'11010101';  
MOVWF OPTION_REG  
BSF OPTION_REG,T0CS  
BCF STATUS,RP0  
  
BSF STATUS,RP0
```

```
BCF TRISC,1
BCF TRISC,2
MOVLW .200
MOVWF PR2
BCF STATUS,RP0

MOVLW B'00101100'
MOVWF CCP1CON

MOVLW .100
MOVWF CCPR1L

;-- TIMER 2
MOVLW B'10000100'
MOVWF T2CON;
CLRF TMR2;
BSF T2CON,TMR2ON;

BSF ADCON0,3;
CALL _DELAY;
BSF ADCON0,2;
BTFSC ADCON0,2;
GOTO $-.1;

MOVLW MIN_ANGULO
SUBWF ADRESH,W

BTFSS STATUS,C;
GOTO $+.15; SIM;

BSF PORTB,0
BCF PORTB,1;
BSF STATUS,RP0;
BCF OPTION_REG,T0CS
BCF STATUS,RP0

BSF FPOS,2
BTFSC FPOS,2;
GOTO $-.1
CLRF PORTB;
BSF T1CON,TMR1ON;
BSF FPOS,2
BTFSC FPOS,2;

GOTO $-.1
GOTO $-.21

MOVLW .3
```

```
MOVWF TEMP ;

BCF ADCON0,3 ;
CALL _DELAY

BSF ADCON0,2
BTFSC ADCON0,2 ;
GOTO $-.1

BCF STATUS,C
RRF MADC,F
BCF STATUS,C

RRF ADRESH,W
ADDWF MADC,W
MOVWF MADC

DECFSZ TEMP,F
GOTO $-.11
MOVF MADC,W

BCF FPOS,0
BSF FPOS,1

MOVF FPOS,W
MOVWF PORTB
BSF STATUS,RP0

BCF OPTION_REG,T0CS
BCF STATUS,RP0

BSF FPOS,2
BTFSC FPOS,2
GOTO $-.1

CLRF PORTB
BSF T1CON,TMR1ON
BSF FPOS,2
BTFSC FPOS,2
GOTO $-.1

BSF ADCON0,3 ; AN1
CALL _DELAY
BSF ADCON0,2
BTFSC ADCON0,2 ;
GOTO $-.1

BTFSC FPOS,3
GOTO IR_PONTO ;
```

```
MOVLW MAX_ANGULO
SUBWF ADRESH,W
BTFSC STATUS,C ;
```

```
GOTO IR_PONTO ;
```

```
MOVF ADRESH,W
```

```
MOVWF ANGULO ;
MOVWF PORTD;
```

```
BCF ADCON0,3 ; AN0
CALL _DELAY
BSF ADCON0,2
BTFSC ADCON0,2 ;
GOTO $-.1
```

```
BCF STATUS,C ;
RRF MADC,F
BCF STATUS,C
RRF ADRESH,W
ADDWF MADC,W
MOVWF MADC
```

```
SUBWF PMIN,W ;
BTFSC STATUS,C ;
```

```
GOTO $+.5
MOVF MADC,W ;
```

```
MOVWF PMIN
MOVF ANGULO,W
```

```
MOVWF ANGULO_MIN
```

```
GOTO Loop_principal
```

```
BSF FPOS,0
BCF FPOS,1
```

```
MOVF FPOS,W
MOVWF PORTB
BSF STATUS,RP0
BCF OPTION_REG,T0CS
```

```
BCF STATUS,RP0
```

```
BSF FPOS,2
BTFSC FPOS,2
GOTO $-.1
CLRF PORTB
```

```
BSF T1CON,TMR1ON ;
```

```
BSF FPOS,2
BTFSC FPOS,2
GOTO $-.1
```

```
BSF ADCON0,3 ;
CALL _DELAY
BSF ADCON0,2
BTFSC ADCON0,2
GOTO $-.1
```

```
MOVF ADRESH,W
SUBWF ANGULO_MIN,W;
BTFSS STATUS,C ;
GOTO IR_PONTO ;
```

```
BSF FPOS,3 ;
BSF T1CON,TMR1ON
```

```
BSF FPOS,2
BTFSC FPOS,2
GOTO $-.1
CLRF FPOS ;
```

```
MOVLW 0XFF
MOVWF PMIN
CLRF ANGULO_MI
```

```
INTERRUPCAO
```

```
MOVWF W_TEMP ;Copy W to TEMP register
SWAPF STATUS,W ;Swap status to be saved into W
CLRF STATUS ;bank 0, regardless of current bank, Clears IRP,RP1,RP0
MOVWF STATUS_TEMP ;Save status to bank zero STATUS_TEMP register
MOVF PCLATH, W ;Only required if using pages 1, 2 and/or 3
MOVWF PCLATH_TEMP ;Save PCLATH into W
CLRF PCLATH ;Page zero, regardless of current page
```

```
BTFSC INTCON,T0IF
GOTO TMR0_INTERRUPTCAO
```

```
BTFSC PIR1,TMR1IF
GOTO TMR1_INTERRUPTCAO
```

```
MOVF PCLATH_TEMP, W ;
Restore PCLATH
MOVWF PCLATH ;
Move W into PCLATH
SWAPF STATUS_TEMP,W ;
Swap STATUS_TEMP register into W;
(set bank to original state)
MOVWF STATUS ;
Move W into STATUS register
SWAPF W_TEMP,F ;
Swap W_TEMP
SWAPF W_TEMP,W ;
Swap W_TEMP into W
```

```
RETFIE
```

```
TMR0_INTERRUPTCAO
BCF INTCON,T0IF
```

```
DECFSZ CT1S,F
RETFIE
```

```
MOVLW VT1S
MOVWF CT1S
```

```
BSF STATUS,RP0
BSF OPTION_REG,T0CS
BCF STATUS,RP0
```

```
CLRF TMR0
BCF FPOS,2
RETFIE
```

```
TMR1_INTERRUPTCAO
BCF PIR1,TMR1IF
```

```
BTFSC FPOS,3
GOTO CONTAGEM_NOVO_CICLO
```

```
    DECFSZ CT10,F
    RETFIE

    MOVLW VT10
    MOVWF CT10
    GOTO $+.6
CONTAGEM_NOVO_CICLO
    DECFSZ CTFINAL,F
    RETFIE
    BCF FPOS,3
    MOVLW VTFINAL
    MOVWF CTFINAL

; SAIDA DO TMR1
    BCF T1CON,TMR1ON
    CLRF TMR1L
    BCF FPOS,2
    RETFIE

_DELAY
    MOVLW .255
    MOVWF TEMP
    DECFSZ TEMP
    GOTO $-.1
    RETURN
END
```